

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Vliv nabíjecích stanic elektromobilů na elektrickou
sít'**

Charging station of electric cars impact on the electric
network

2011

Bc. Hana Barešová

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Hana Barešová**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Vliv nabíjecích stanic elektromobilů na elektrickou síť**
Charging Station of Electric Cars Impact on the Electric Network

Zásady pro vypracování:

1. Distribuční rozvodné soustavy
2. Rozbor a analýza diagramu zatížení
3. Analýza stávající stavu pro možnosti připojování nabíjecích stanic elektromobilů do distribuční sítě s ohledem na stabilitu chodu a denní odběrový diagram.
4. Návrh koncepčního řešení nabíjecí stanice elektromobilu s minimálními vlivy na napájecí síť.
5. Rozbor a denní bilance odběrů aktivní nabíjecí stanice.
6. Posouzení možnosti umístění nabíjecí stanice ve vybrané lokalitě a vyhodnocení dopadů na energetické poměry.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. VŠB-TU Ostrava, 2008.
2. Trojánek, Z.: Přechodové jevy v elektrizačních soustavách. SNTL, Praha 1987.
3. Pauza, J., Krychtánek, Z.: Elektrické stanice. SNTL Praha, 1989.
4. Santarius P.: Elektrické stanice a vedení. Skripta VŠB Ostrava, 1993.
5. Horák, K.: Výpočet elektrických sítí. SNTL Praha, 1980.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.“

V Ostravě dne 5.5.2011

.....
Bc. Hana Barešová

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá problematikou nabíjecích stanic pro elektromobily s podporou akumulace elektrické energie. Tyto nabíjecí stanice se obvykle označují jako aktivní nabíjecí stanice a jsou součástí moderních elektrických sítí označovaných jako „Smart Grids“ nebo „Micro Grids“. V diplomové práci je provedeno stručné shrnutí současných znalostí o strukturách a provozu elektrických rozvodných sítí, dále je provedena analýza východisek pro rozvoj elektromobilismu a jeho možných dopadů na elektrickou síť. V závěrečných kapitolách je navržena metodika návrhu pro různé typy a velikosti aktivních nabíjecích stanic se zaměřením na modelovou situaci umístění aktivní nabíjecí stanice v Technologickém centru Ostrava.

Klíčová slova:

Aktivní nabíjecí stanice, akumulace elektrické energie, elektrická síť, elektromobil, nabíjecí stanice.

Abstract:

This Diploma thesis deals with charging stations for electric cars containing accumulation of electrical energy support. Usually these charging stations are called active charging stations and are parts of modern electrical grid known as “Smart Grids” or “Micro Grids”. This thesis also contains a brief summary of current knowledge about structures and service of electricity distribution networks, and analysis of electric car industry growth and its potential impact on electrical network. In final chapters is proposed the design methodology for active charging stations of different types and sizes orienting on scenario placement of charging station in Ostrava science and technology center.

Keywords:

Active charging station, accumulation of electrical energy, electric network, electric car, charging station.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Ampér (jednotka proudu)
C	Kapacita [F]
$C_{\text{auto aku}}$	Kapacita akumulátoru vozidla
C_{aku}	Kapacita akumulátoru aktivní nabíjecí stanice
G	Vodivost [S]
GWh	Gigawatthodina
h	Hodina
$i_{fa, fb, fc}$	Fázové proudy aktivní nabíjecí stanice
$I_{f(ekv)}$	Denní ekvivalentní nabíjecí proud elektromobilu [A]
I_{n1}	Jmenovitý proud primáru transformátoru [A]
I_{n2}	Jmenovitý proud sekundáru transformátoru [A]
$i_{sa, sb, sc}$	Fázové proudy sítě
k_s	Činitel soudobosti
k_{se}	Činitel soudobosti provozu elektromobilu
k_{sn}	Činitel soudobosti nabíjení
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatthodina
L	Indukčnost [H]
$L_{fa, fb, fc}$	Fázové filtrační tlumivky
$L_{sa, sb, sc}$	Síťové reaktance aktivní nabíjecí stanice
MW	Megawatt
$N_{el.A}$	Počet elektromobilů v kategorii „A“
$N_{el.B}$	Počet elektromobilů v kategorii „B“
$N_{el.C}$	Počet elektromobilů v kategorii „C“
n_z	Počet nabíjecích zásuvek
$P_{AKA(B)}$	Střední denní nabíjecí výkon elektromobilů [kW]
$P_{\text{aku ekv 1,2}}$	Ekvivalentní výkony akumulace [kW]
P_d	Dosažitelný výkon [MW]
P_i	Instalovaný výkon [MW]
P_{max}	Maximální zatížení [MW]
P_{min}	Minimální zatížení [MW]
P_N	Jmenovitý výkon [MW]
P_{opt}	Ekonomický výkon (zatížení) [MW]
P_p	Pohotový výkon [MW]
$P_{\text{stř}}$	Střední výkon [MW]
$P_{(t)}$	Průběh výkonu v závislosti na čase [MW]
R	Odpor [Ω]
S_n	Zdánlivý jmenovitý výkon transformátoru [kVA]
S_{1-6}	Tranzistory polovodičového střídače
t	Čas [h]

t_u	Doba využití maximálního zatížení [h]
t_z	Doba plných ztrát [h]
T	Sledované období
$u_k\%$	Procentní napětí transformátoru nakrátko
$u_{sa, sb, sc}$	Fázové napětí zdroje sítě aktivní nabíjecí stanice [V]
V	Volt (jednotka napětí)
νf	Vysoká frekvence
W	Měrná spotřeba elektrické energie [kWh]
$W_{AKA (A)}$	Akumulovaná energie vozidla kategorie „A“ [Wh]
$W_{AKA (B)}$	Akumulovaná energie vozidla kategorie „B“ [Wh]
$W_{AKA (C)}$	Akumulovaná energie vozidla kategorie „C“ [Wh]
$W_{AKA (celk)}$	Akumulovaná energie ve všech vozidlech [Wh]
W_{AKS}	Energie akumulátoru aktivní nabíjecí stanice [kWh]
W_{AKSn}	Energie akumulátoru aktivní nabíjecí stanice s počtem n_z zásuvek [kWh]
$W_{AKU 1,2,D}$	Možná akumulovaná energie v průběhu dne [Wh]
$W_{celk (Ostrava)}$	Denní akumulovaná energie v elektromobilech na území Ostravy [MWh]
$W_{celksít' (Ostrava)}$	Předpokládaná spotřeba energie elektromobilů na území Ostravy [MWh]
z	Zatěžovatel
η_{nab}	Účinnost nabíjení [%]
β	Činitel náročnosti
δ	Různost
τ	Využití maxima
ξ	Zatěžovatel

DDZ	Denní diagram zatížení
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EU	Evropská unie
HDO	Hromadně dálkové ovládání
JE	Jaderná elektrárna
MDZ	Měsíční diagram zatížení
NN	Nízké napětí
PVE	Přečerpávací vodní elektrárna
RDZ	Roční diagram zatížení
TCO	Technologické centrum Ostrava
TDZ	Týdenní diagram zatížení
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
ZVN	Zvlášť vysoké napětí

Obsah

Úvod.....	8
1. Cíle diplomové práce	8
2. Distribuční rozvodné soustavy	9
3. Rozbor a analýza diagramu zatížení, základní pojmy	14
4. Analýza stávajícího stavu pro možnosti pořipojování nabíjecích stanic elektromobilů do distribuční sítě s ohledem na stabilitu chodu a denní odběrový diagram	20
4.1 Odhad množství elektrické energie potřebné pro nabíjení vozidel	23
4.2 Odhad množství elektrické energie potřebné pro nabíjení vozidel v regionu Ostravy	24
5. Návrh koncepčního řešení nabíjecí stanice elektromobilů s minimálními vlivy na napájecí síť.....	26
5.1 Základní struktura aktivní nabíjecí stanice.....	28
5.2 Obvodové řešení aktivní nabíjecí stanice.....	29
6. Rozbor a denní bilance odběrů aktivní nabíjecí stanice	31
7. Posouzení možnosti umístění nabíjecí stanice ve vybrané lokalitě a vyhodnocení dopadů na energetické poměry	33
7.1 Struktura napájení v místě aktivní nabíjecí stanice	34
7.2 Rozbor výhledu energetické situace spojené s elektromobilitou na území Ostravy	35
7.3 Denní energetická bilance aktivní nabíjecí stanice ve vybrané lokalitě.....	35
7.4 Hledání metody pro výpočet velikosti akumulátoru	38
7.4.1 Výpočet velikosti akumulátoru malé aktivní nabíjecí stanice	38
7.4.2 Výpočet velikosti akumulátoru střední aktivní nabíjecí stanice	39
7.4.3 Výpočet velikosti akumulátoru velké aktivní nabíjecí stanice	40
Závěr	45
Použitá literatura	46
Seznam příloh.....	47

Úvod

Elektromobilita je v současné době snad jeden z nejčastěji diskutovaných termínů automobilové techniky. Současný stav je charakteristický jednotkovým množstvím sériových producentů automobilů zejména na území USA a Japonska, oblast Evropy a zejména České republiky je pro elektromobilismus dosud charakteristická amatérským přístupem nadšenců a tomu odpovídajícímu počtu provozovaných vozidel. Malému počtu provozovaných vozidel odpovídá také nízká hustota nabíjecích stanic, které jsou povětšinou rovněž provozovány amatérsky.

Má-li dojít k deklarované expanzi elektromobilů, tak jak můžeme sledovat z prohlášení řady významných evropských politiků a institucí, stoupne rovněž nárok na potřebu vybudování adekvátní sítě nabíjecích stanic a z této skupiny odběratelů vznikne poměrně významný tržní segment dodavatelů elektrické energie.

Aktuální problém současnosti spočívá v lokálním a časově neefektivním rozložení výroby elektrické energie a požadavků na její spotřebu. Z tohoto pohledu je proto akumulace elektrické energie jedním ze základních technologických problémů energetických soustav. Intenzitu požadavků na akumulaci elektrické energie v současnosti umocňuje i vzrůstající část instalovaného výkonu, získaného z obnovitelných zdrojů. V současnosti lze pozorovat určitý posun ke snaze akumulovat elektrickou energii např. v dopravě, kromě již zmíněných elektromobilů i v elektrobusech městské hromadné dopravy. V tomto smyslu je základním rysem provozu elektromobilů možnost akumulace elektrické energie pro přepravu osob a nákladu v následujícím časovém období.

Pro tyto účely se jeví velmi výhodné spojit vznikající soustavu infrastruktury nabíjecích stanic s využitím obnovitelných zdrojů elektrické energie např. ze slunce o možnost akumulace vyrobené energie a její následnou rovnoměrnou dodávku do infrastruktury nabíjecích stanic. Při začlenění tohoto principu do stávajících distribučních sítí hovoříme o vzniku tzv. „Micro Grids“, příp. sítí nového typu, tzv. „Smart Grids“.

V této souvislosti hovoříme o nabíjení elektromobilů z tzv. aktivních nabíjecích stanicích, tedy v nabíjecích zařízeních, které jsou samy o sobě vybaveny prostředky akumulace elektrické energie pro nabíjení vozidel. Tím je umožněno nabíjení elektromobilů bez ohledu na energetickou situaci v síti v souvislosti s denním odběrovým diagramem, příp. i chodu těchto nabíjecích stanic v tzv. ostrovním režimu z vlastního akumulátoru.

1. Cíle diplomové práce

Téma diplomové práce řeší problematiku provozu lokální distribuční sítě v návaznosti na očekávaný rozvoj elektromobility a tvorbu nového typu distribučních sítí typu „Smart Grids“ případně řešení provozu malých sítí typu „Micro Grids“.

Základním rysem řešené problematiky je spojení dostatečného počtu provozu elektromobilů s jejich vlastní akumulací elektrické energie s provozními stavy distribuční elektrické sítě s podporou akumulace spolu s potlačením negativních zpětných vlivů polovodičových nabíječů elektromobilů na distribuční síť.

K řešení této problematiky z pohledu elektroenergetiky je nutný průnik do oblasti výkonové elektroniky a výkonových polovodičových systémů, které se stávají základním článkem výše uvedených sítí nového typu i zmiňovaných procesů akumulace.

Diplomová práce si proto klade za cíl:

- shrnout současné poznatky o distribučních sítích spolu se základní terminologií a rozбором jejich provozních stavů s ohledem na denní diagram zatížení,
- shrnout potřebné poznatky o výhledech elektromobility v ČR, resp. v ostravském regionu ve smyslu kvantifikace potřeby výkonu nabíjecích stanic,
- shrnout poznatky o koncepčním řešení aktivních nabíjecích stanic, včetně rozboru možností zpětného působení polovodičových nabíječů na napájecí síť,
- na vybrané lokalitě provést bilanci stávajících odběrů elektrické energie a stanovit velikost efektivní akumulační složky elektrické energie s cílem minimalizovat dopad nabíjecí stanice na stávající síť a využít elektromobility pro zrovnoměnění odběrů v rámci denního odběrového diagramu,
- shrnout dopady provozu elektromobilů na síť, příp. nalézt doporučení k provozu aktivní nabíjecí stanice ve vybrané lokalitě.

2. Distribuční rozvodné soustavy [5]

Možnosti distribučních sítí jsou ve značné míře ovlivněny strukturou jejich napájení. S intenzitou elektrifikace zejména městských aglomerací se historicky rozvíjela i struktura přenosu energie z nadřazených sítí do sítí distribučních. Na vývoji těchto struktur na území České republiky lze tak demonstrovat základní možné připojení nadřazených soustav do distribučních sítí.

Historicky se u nás započalo s výrobou elektrické energie v roce 1878 (stejnoseměrný proud). Rozvoj střídavé elektrizace započal kolem roku 1890. V Praze - Holešovicích byla postavena elektrárna na napětí 3 kV v roce 1898, v Brně v roce 1897. Střídavé systémy se zpočátku vyvíjely souběžně se stejnosměrnými, avšak postupně je vytlačovaly. Systematická elektrifikace střídavým proudem u nás nastala po roce 1918. V roce 1920 byla prosazena jmenovitá napětí 22 - 6 - 0,4 kV. Tím se potlačil rozvoj napětíových stupňů 10 a 15 kV a sítě se staly přehlednější.

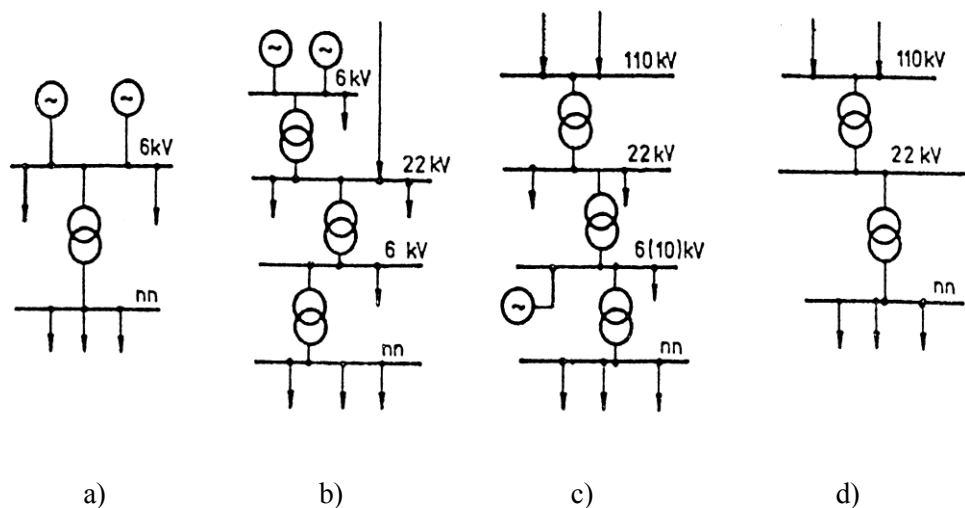
V sítích nízkého napětí se započalo elektrifikovat s napětím 220/127 V, později se všeobecně prosadilo normalizované napětí 380/220 V.

Sítě vysokého napětí jsou ve městech vesměs realizovány kabely, kdežto na venkově převážně venkovním vedením. Zatímco u venkovských sítí se všeobecně prosadilo napětí 22 kV, rozvoj městských kabelových sítí byl podmíněn technologickými možnostmi výroby kabelů a hodnotou zatížení v městských aglomeracích. Proto se u nás napětí kabelových sítí postupně zvyšuje. Z původních sítí 3 kV se přešlo na 6 a 10 kV a v poslední době se přechází na napětíovou hladinu 22 kV. Jelikož se nové napětíové stupně zavádějí dříve, než staré dožijí, objevují se v městských aglomeracích sítě s několika stupni napětí VN. [11]

Rozvoj spotřeby elektrické energie a zahušťování osídlení v městských aglomeracích přináší nové problémy. Objevují se stále větší problémy se spolehlivostí starých sítí, objevuje se potřeba větších transformačních jednotek.

Způsob provedení sítí podle technického vývoje je znázorněn na obr. 2.1.

Na obr. 2.1a) je naznačeno nejjednodušší schéma pro první stupeň vývoje elektrizace. V dalším stupni rozvoje se objevovaly tři, čtyři a u velkých měst i pět stupňů napětí (obr.2.1b), 2.1c)). Modernější koncepcí dochází opět k zjednodušování sítí a k přechodu na normalizované stupně napětí, jak je naznačeno na obr. 2.1d).



Obr. 2.1. Technický vývoj sítí [4,5]

Elektrické sítě dělíme z několika hledisek. Z hlediska parametrů sítě dělíme [4]

- Sítě s prostorově soustředěnými parametry (sítě NN a VN) tzv. krátká vedení, u kterých respektujeme činný odpor R , u střídavých sítí respektujeme činný odpor R a indukčnost vedení L .
- Sítě s prostorově rozloženými parametry (sítě VVN a ZVN) tzv. dlouhá vedení, u kterých respektujeme činný odpor R , indukčnost L , kapacitu C a také vlnovou impedanci, rychlost vlny i svodovou vodivost G .

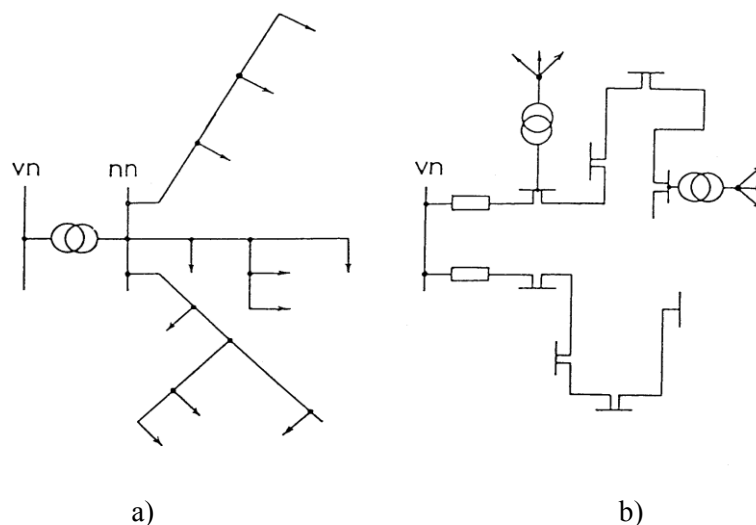
Z hlediska hladiny napětí sítě dělíme na

- Přenosové sítě – 400 kV, 230 kV, částečně 110 kV.
- Distribuční sítě – částečně 110 kV, 35 kV, 22 kV, 10 kV, 6 kV, 0,4 kV.

Vlastnosti a možnosti distribučních sítí s ohledem na lokalitu a hustotu osídlení ovlivňuje zejména topologie sítě. Z hlediska topologie dělíme sítě na

- Paprskové sítě

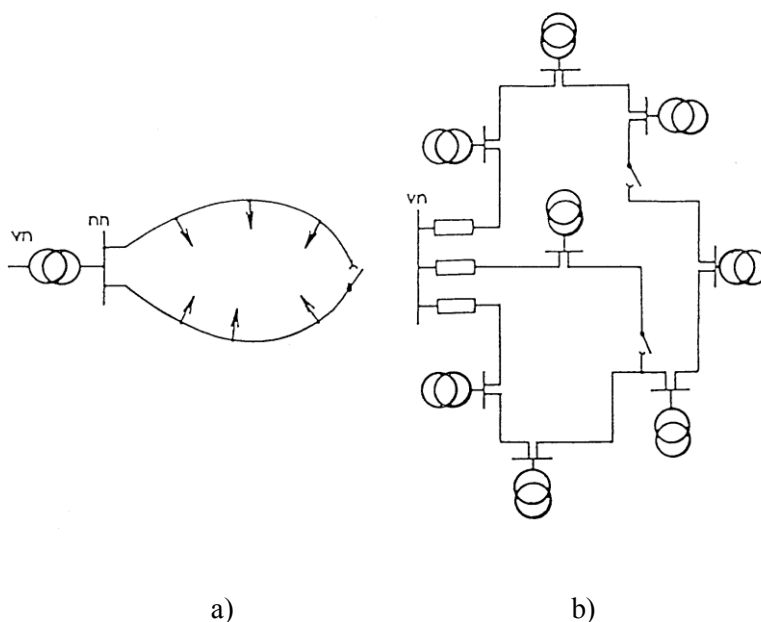
Tento druh sítě je velmi jednoduchý, snadno se udržuje, snadné je rovněž vyhledávání poruch. Každý vývod z rozvodny je samostatný a není možné jej zálohovat. Tento způsob rozvodu je laciný, ale zajišťuje malou spolehlivost dodávky. Při poruchách může být přerušena dodávka dosti dlouhá (několik hodin i déle). Na obr. 2.2. je znázorněno provedení paprskových sítí nízkého napětí (obr. 2.2a.) a vysokého napětí (obr. 2.2b.).



Obr. 2.2. Paprskové sítě [4,5]

- Okružní sítě

Vznikly postupným zahušťováním paprskových sítí. Jednotlivé paprsky jsou vedeny tak, že se dají navzájem propojit. Sítě jsou zpravidla provozovány jako paprskové, ale při poruše v některém úseku lze velmi rychle (ručně nebo automaticky) zajistit náhradní napájení. Další výhodou je možnost rovnoměrnějšího rozdělení zatížení na jednotlivé vývody. Obdobným způsobem lze provozovat i sítě VN.



Obr. 2.3. Okružní sítě [4,5]

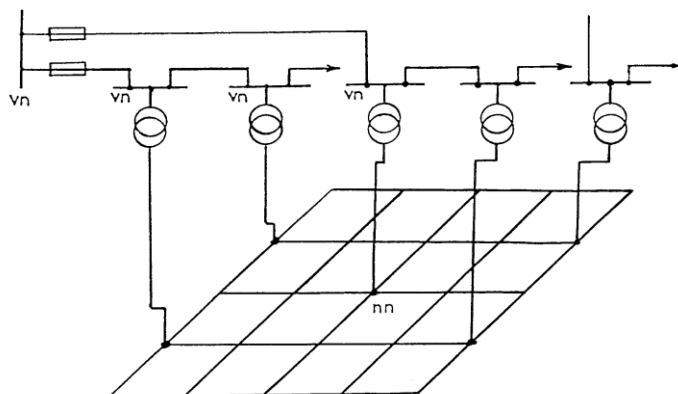
Na obr. 2.3. je znázorněno provedení okružních sítí nízkého napětí (obr. 2.3a.) a vysokého napětí (obr. 2.3b.).

- Zauzlené síť

Síť je tvořena několika oky a vyskytuje se i několik napáječů. Spojovací vedení mezi napáječmi se často jistí tzv. pojistkami slabé vazby, nejlépe v místě kritického průřezu (nejméně zatížená část) s poloviční jmenovitou hodnotou hlavních pojistek. Při poruše nejdříve reaguje pojistka slabé vazby a pak pojistka v hlavní stanici, čímž se odpojí jen část porušeného vedení.

- Mřížové síť

V mřížové síti je několik transformoven napájeno více napáječmi VN. Kabelové vedení NN je v uzlech jištěno s pojistkami s pomalou charakteristikou o stejné hodnotě, což zajišťuje vysokou selektivitu jištění sítě. Mřížové síť zajišťují lepší využití transformátoru a vedení, zlepšení kvality napětí, zmenšení ztrát v sítích. Nevýhodou mřížových sítí je zvětšení zkratových výkonů v síti NN a vznik tzv. zpětných napětí při poruchách.



Obr. 2.4. Mřížové síť [4,5]

Na obr. 2.4. je znázorněno provedení mřížové sítě nízkého napětí. Obdobným způsobem lze realizovat i síť vysokého napětí.

Všechny uvedené koncepce sítí jsou charakteristické pouze rozvodem „silové“ elektrické energie s plným zajištěním maximálního odebíraného výkonu, což vyžaduje do značné míry předimenzování rozvodných kabelů, nebo vedení. Stabilita a spolehlivost provozu těchto sítí je řešena provozními informačními, nebo dispečerskými systémy, které zpracovávají data a signály odděleně od vlastního rozvodu energie, příp. je možný provoz i bez těchto systémů.

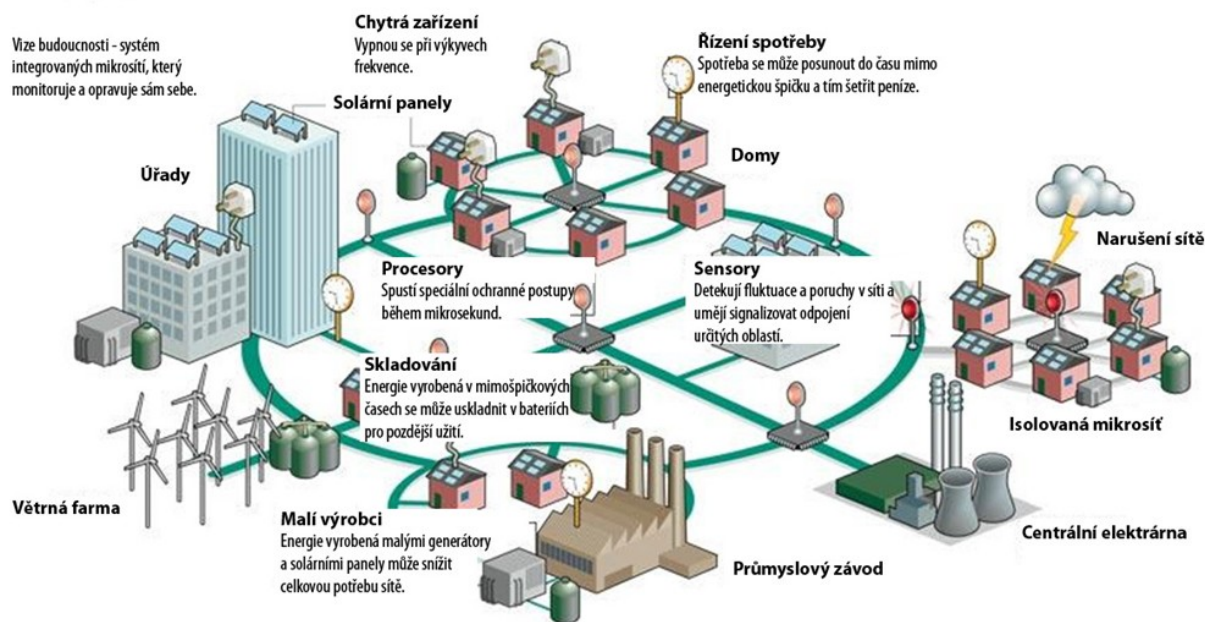
Zcela novým pohledem na pojetí lokálních distribučních sítí je koncepce tzv. „Smart Grids“, u nichž jsou neoddělitelně propojeny principy výroby, přenosu a akumulace elektrické energie, včetně inteligentního řízení.

- Smart Grids - nová koncepce sítí

Koncept inteligentních rozvodných sítí energie - Smart Grids - představuje řešení umožňující vyrovnat kolísavou poptávku po elektrické energii i nestálost její ceny. Cílem Smart Grids je vyšší energetická a operační efektivita dodávek elektrické energie s maximální ohleduplností na životní

prostředí, která v konečném důsledku vede ke spokojenosti konečných uživatelů. Koncepce Smart Grids se zabývá nejen strukturou sítě, ale i jejím provozem a komunikačními technologiemi pro zajištění bezchybného provozu.

Smart Grids, neboli "inteligentní síť", představují sjednocení silových elektrických sítí včetně obnovitelných zdrojů a komunikačních sítí, které umožňují regulovat výrobu a spotřebu elektrické energie v reálném čase, jak v místním, tak v globálním měřítku. [20]



Obr. 2.5. Funkční schéma sítě Smart Grids [20]

Nosnou myšlenkou celé koncepce je renovace elektrických sítí a celého systému přenosu elektrické energie, který by měl vést k efektivnější a zejména pak úspornější spotřebě. Principem je výstavba komplexního a sofistikovaného systému, který by odpovídal požadavkům moderní doby a nahradil dosavadní, v mnoha případech zastaralou infrastrukturu.

Smart Grids představují moderní, inovované pojetí distribučních sítí. Jsou schopny pokrýt aktuální i výhledové požadavky výrobců elektřiny i odběratelů. Koncepce Smart Grids dokáže účinně sjednotit působení všech připojených uživatelů, nejen velkých výrobních i lokálních zdrojů (zejména obnovitelných zdrojů energie a jednotek kombinované výroby elektřiny a tepla – čili malé kogenerace), ale také odběratelů s možností jejich aktivní role. Smart Grids rovněž umožňuje nové funkce distribuční sítě, jako je například integrace dobíjecích stanic pro elektromobily. Chytrost těchto sítí spočívá v monitoringu, automatizovaném řízení a adaptaci na aktuální podmínky v síti – například zatížení, poruchy apod., v obousměrné komunikaci s odběratelem a v efektivní integraci všech výrobních zdrojů elektřiny. Jedním ze základních kamenů Smart Grids jsou chytrá měřidla (Smart Meters), díky nimž budou mít odběratelé lepší přehled o své reálné spotřebě, a tak i lepší možnost, jak tuto spotřebu více ovlivnit a uspořít náklady.

Dalším komponentem Smart Grids je vybudování infrastruktury pro elektromobilitu – zejména sítě dobíjecích stanic. Díky Smart Grids se distribuční sítě stanou spolehlivější a flexibilnější, například

v případě výpadků prvky automatizace a monitoringu, a to jak na úrovni nízkého, tak vysokého napětí.

Nedílnou součástí Smart Grids je i zapojení lokálních výrobních zdrojů energie, zejména malé kogenerace či různých typů obnovitelných zdrojů. Právě tyto lokální zdroje umístěné blízko míst spotřeby umožňují vytvoření řízeného ostrovního provozu, tedy oblasti s bilančně vyrovnanou spotřebou a výrobou energie, celé sítě v případě výpadků. [15]

3. Rozbor a analýza diagramu zatížení, základní pojmy

Diagram zatížení (odběrový diagram) - vyjadřuje průběh spotřeby (výroby) elektrické energie za určité sledované období T . V praxi se např. používá závislost výkonu elektrárny, části elektrizační soustavy, celé soustavy, apod. [3]

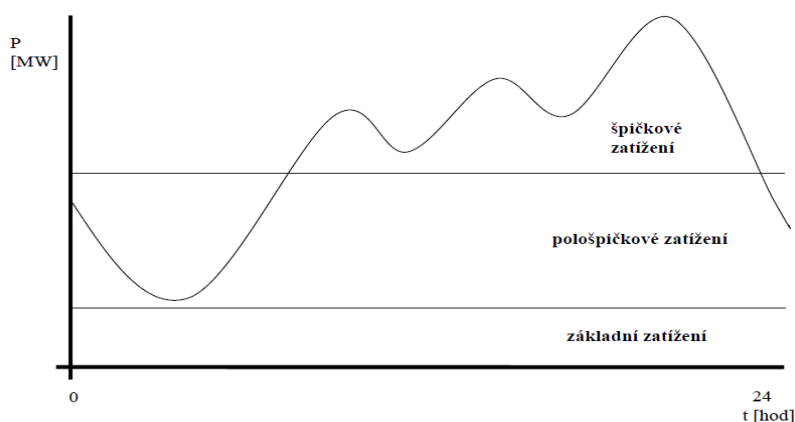
Může být denní (DDZ), týdenní (TDZ), měsíční (MDZ) a roční (RDZ). Průběh zatížení je ovlivněn např. klimatickými podmínkami, pracovní aktivitou, střídáním ročních období (RDZ), střídáním pracovních a volných dnů (TDZ), střídáním pracovní a nepracovní doby a střídáním dne a noci (DDZ).

Množství spotřebované energie je úměrné ploše diagramu. Tvar křivky závisí na dnu v týdnu, na svátcích, ročním období, pořadech v televizi, apod.

Denní diagram zatížení lze rozdělit na tři oblasti:

- základní zatížení
- pološpičkové zatížení
- špičkové zatížení

Základní zatížení je oblast vymezena nulou a minimálním výkonem (příkonem). Je to takové zatížení, jehož hodnota se během dne nemění. Do této oblasti pracují elektrárny, které produkují elektrickou energii 24 hodin denně, tedy takové, které nelze rychle najíždět a odstavovat a mají špatnou (tedy malou nebo pomalou) regulaci výkonu. Z uvedených důvodů pracují do této oblasti elektrárny jaderné (JE Dukovany a JE Temelín), vodní průtočné a některé uhelné.



Obr. 3.1. Denní diagram zatížení

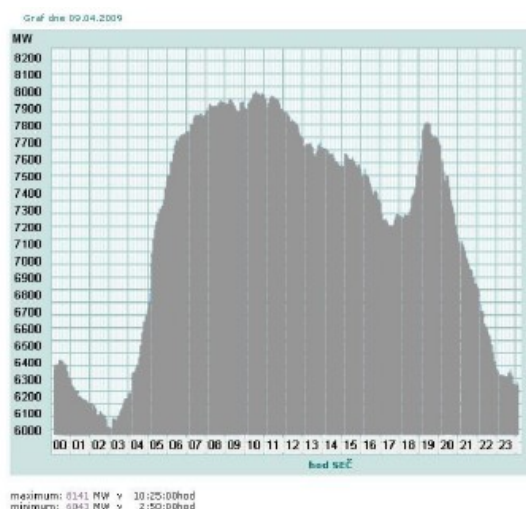
Pološpičkové zatížení vymezuje oblast mezi základním a špičkovým zatížením. V této oblasti pracují především klasické (uhelné, paroplynové a spalovací) elektrárny a vodní průtočné elektrárny. Změny výkonu musí být dostatečně rychlé.

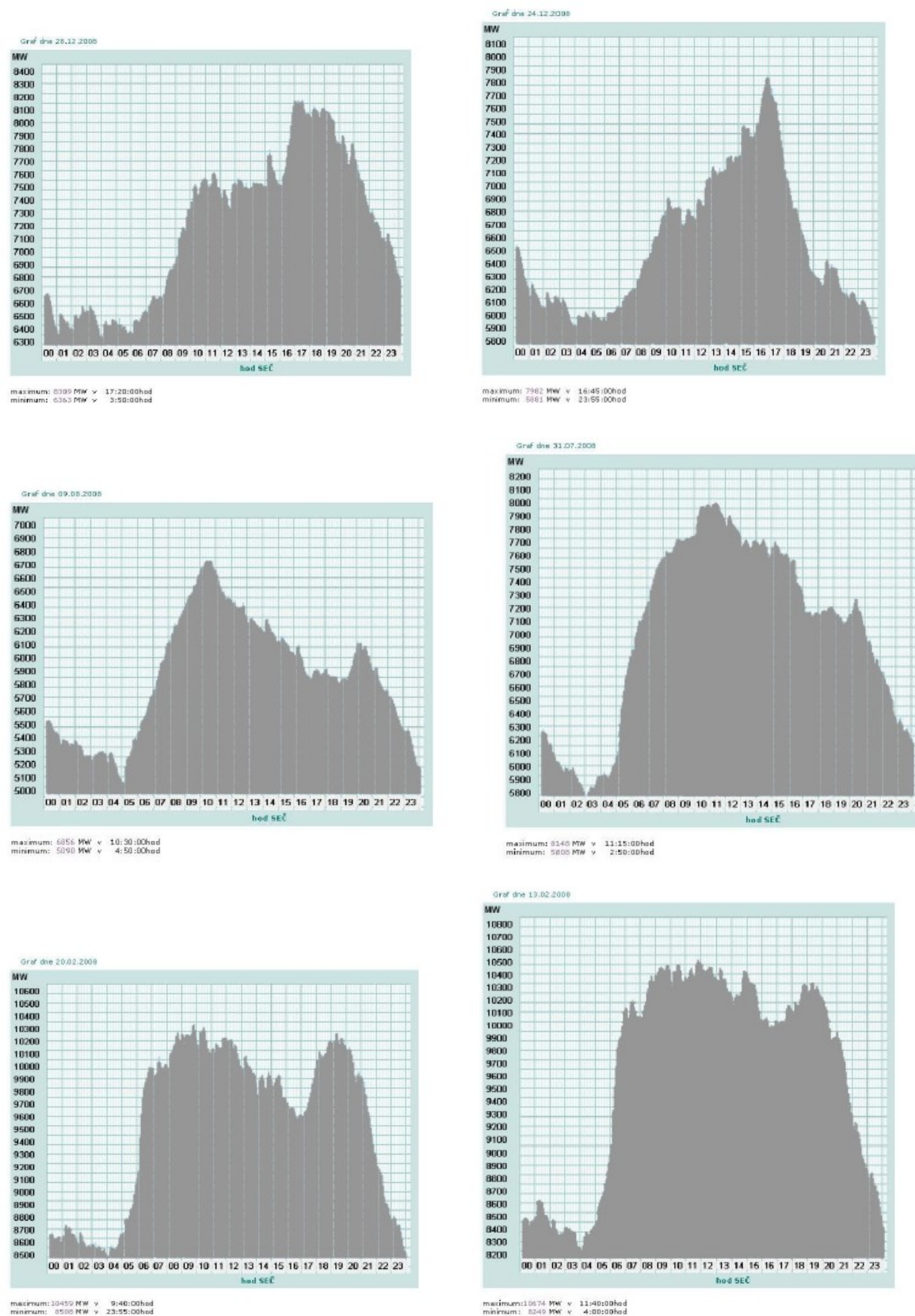
Špičkové zatížení vymezuje křivka daná maximálním výkonem (příkonem). Do této oblasti pracují především elektrárny, které se dají velmi rychle regulovat. Především jde o vodní přečerpávací elektrárny (Dalešice, Dlouhé stráně, aj.).

Při vyrovnanějším zatížení je delší využití maxima τ a tím je také vyšší zatěžovatel z . Náklady na výrobu elektrické energie jsou potom nižší. Proto je nutné používat prostředky pro vyrovnaní (linearizaci) DDZ. S jejich podporou lze regulovat spotřebu, příp. i dodávku, a tím linearizovat DDZ. Využívají se především tyto prostředky:

- přečerpávací vodní elektrárny (PVE) – při nedostatku elektrické energie ji do sítě dodávají, při přebytku energie ji ze sítě odebírají,
- hromadně dálkové ovládání (HDO) – ovládání spotřebičů signálem po rozvodné síti (tepelná čerpadla, závlahové systémy, akumulární kamna, bojler, apod.),
- zavedení zvýhodněných tarifů za elektrickou energii (tzv. „noční proud“) – v době přebytku jsou odběratelé stimulováni k odběru nižší sazbou za energii (nejen v noci, ale i během dne),
- zavedení letního času – má vliv na tvar diagramu zatížení, snižuje večerní špičku, vliv na spotřebu elektřiny není zcela průkazný,
- mezinárodní výměna elektrické energie (saldo) v rámci propojených elektrizačních soustav jednotlivých států – např. v jedné soustavě může být díky časovému posunu energie přebytek, v druhé soustavě jí může být naopak nedostatek. např. mezi ČR a Francií je při stejném časovém pásmu posun asi jedna hodina (ve Francii vychází a zapadá Slunce asi o jednu hodinu později, než v ČR),
- posun a rozložení začátků pracovní doby v čase, směnnost, apod.

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny různé průběhy DDZ.





Obr. 3.2 Různé průběhy DDZ

Tyto průběhy mají silnou vypovídací schopnost o ročním období, ve kterém jsou snímány, (např. větší noční odběr pro akumulaci vytápění v bytové oblasti v zimě v protikladu ke špičkovému odběru klimatizačních zařízení v letních měsících), k charakteru odběrů (jiný u bytové zástavby, jiný u průmyslových odběrů v závislosti na době trvání pracovní doby) a řadě dalších faktorů, které např. ovlivňují, jestli má odběrový diagram dvě, či jedno hlavní maximum. Vyhodnocování struktury odběrů je prováděno především statistickými metodami a slouží jak pro plánování kapacit dalších zdrojů, tak pro optimalizaci chodu sítě.

Pro práci s denním zátěžovým diagramem jsou využívány následující základní elektroenergetické pojmy. [5]

Jmenovitý výkon P_N [MW] - je největší trvalý (jmenovitý) výkon strojů, kotlů, alternátorů, transformátorů atd., po kterém jsou nazvány a pro který jsou vypočteny a postaveny. Při tomto výkonu nemusí být dosaženo jejich nejlepších parametrů (např. nejvyšší účinnosti).

Instalovaný výkon P_i [MW] - je součet jmenovitých činných výkonů všech stejných zařízení nacházejících se v jednom objektu (oddělené kotle, alternátory atd.). U elektrárny se jako instalovaný výkon udává instalovaný výkon všech alternátorů včetně alternátorů vlastní spotřeby, pokud se výslovně neuvede něco jiného.

Dosažitelný výkon P_d [MW] - je maximální výkon (činný), kterého může zařízení dosáhnout při správném stavu a při normálních provozních podmínkách.

Pohotový výkon P_p [MW] - je největší dosažitelný výkon, který zařízení dosáhne v určité době s ohledem na všechny technické a provozní podmínky. Dostaneme jej z dosažitelného výkonu, odečteme-li výkony zařízení vyřazeného pro plánovanou generální opravu nebo revizi nebo pro neplánovaný výpadek.

Technické minimum výkonu P_{min} [MW] - je nejmenší trvalý výkon, s nímž může elektrárna nebo spotřebitel pracovat bez nebezpečí poškození zařízení.

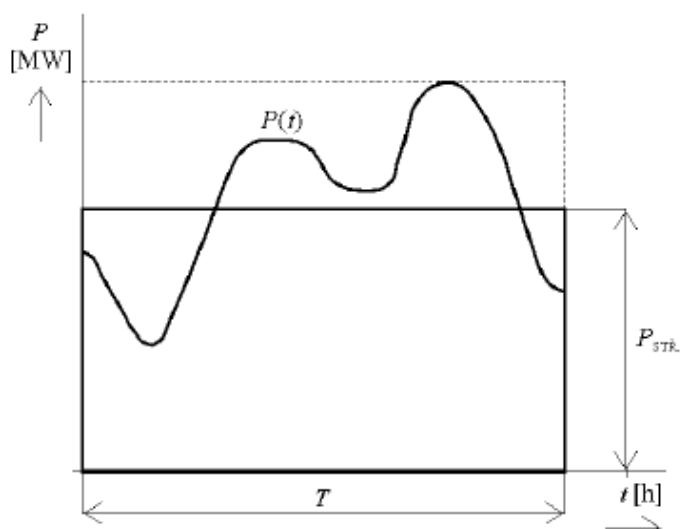
Maximální zatížení P_{max} [MW] - je skutečné maximální zatížení za sledované období. Obvykle se určuje 15 minutovým průměrem nebo nejvyšší okamžitou hodnotou. Časové období je třeba uvést. Dříve se nejvyšší okamžitá hodnota nazývala špička.

Minimální zatížení P_{min} [MW] - je skutečné minimální zatížení za sledované období. Obvykle se určuje 15 minutovým průměrem nebo jako nejmenší okamžité zatížení. Časové období je třeba uvést.

Základní zatížení - je znázorněno ve spodní části diagramu zatížení, leží pod minimálním zatížením.

Střední zatížení P_{str} [MW] - je trvalé zatížení, při němž by zařízení dosáhlo za celé sledované období T téže práce W [MWh].

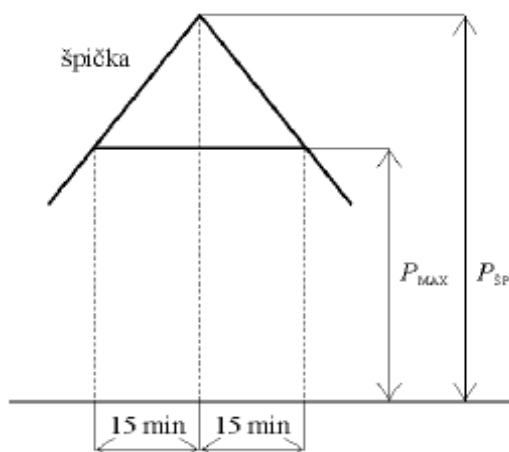
$$W = \int_0^t P(t)dt = P_{str}T \Rightarrow P_{str} = \frac{W}{T} \quad (3.1)$$



Obr. 3.3 Střední zatížení

Pološpičkové zatížení - je zatížení nacházející se mezi základním a středním zatížením

Špičkové zatížení - je část zatížení nad středním zatížením. Rozdělení zatížení do tří uvedených oblastí má význam pro provoz soustavy technický a hospodářský.



Obr. 3.4 Špičkové zatížení

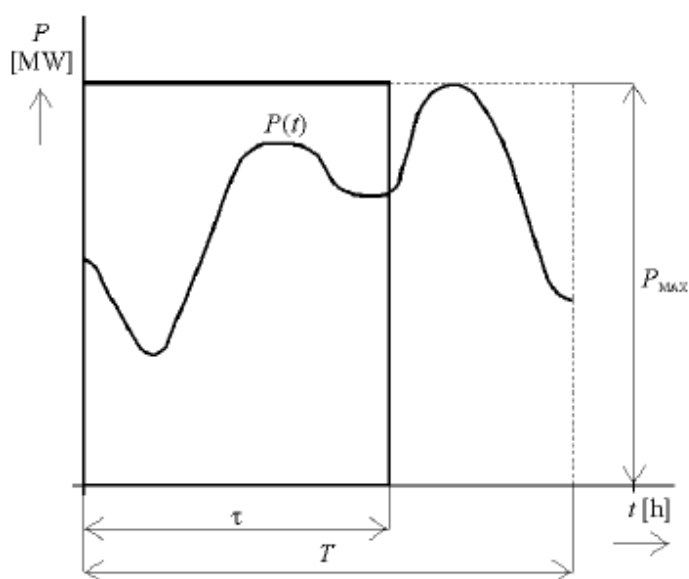
Ekonomický výkon (zatížení) P_{opt} [MW] - je výkon, při kterém má stroj nebo zařízení maximální účinnost.

Energetický rok - je 8760 hodin, tj. 365 dnů.

Celkový počet hodin - je počet hodin ve sledovaném období.

Doba využití maximálního zatížení t_u [h] - je poměr elektrické práce za sledované období k maximálnímu výkonu. Platí:

$$W = \int_0^t P(t) dt = P_{\max} t_u \Rightarrow t_u = \frac{W}{P_{\max}} \quad (3.2)$$



Obr. 3.5 Doba využití maximálního zatížení

Zatěžovatel ξ - je poměr středního výkonu k výkonu maximálnímu nebo poměr doby využití maximálního zatížení k celkové době období. Lze to vyjádřit vztahem:

$$\xi = \frac{P_{\text{str}}}{P_{\max}} = \frac{t_z}{T} \leq 1 \quad (3.3)$$

Doba plných ztrát t_z [h] - je doba provozu s maximálním výkonem P_{\max} , za kterou se dosáhne stejných ztrát elektrické práce jako ve sledovaném období T při výkonu $P(t)$. Je nutné uvést sledované období. Předpokládá se konstantní napětí a účinník. Podle Jouleova zákona platí:

$$W \approx \int_0^T I^2(t) dt = I^2 t_z \quad (3.4)$$

Činitel soudobosti k_s - je poměr maximálního soudobého zatížení skupiny jako celku $P_{\max s}$ a součtu maximálně možných zatížení jednotlivých členů skupiny. Je nutné udat počet členů skupiny (n) a určitý čas. Je-li maximální možné zatížení jednoho členu $P_{\max m}$, pak bude platit:

$$k_s = \frac{P_{\max s}}{\sum_{m=1}^n P_{\max m}} \leq 1 \quad (3.5)$$

Rovnosti by se dosáhlo, kdyby všechny členy skupiny dosáhly svého maximálního zatížení v též okamžik. Činitel můžeme uvažovat od všech odběratelů nebo mezi skupinou odběratelů, mezi vývody z transformovny, mezi transformátory, mezi napáječi. Dále můžeme mluvit o soudobosti pro všední den nebo pro neděli, týden, měsíc, celý rok. Soudobost nemá vliv na proměnné náklady,

za to však na rozdělení nákladů stálých. Pro navrhování sítí, transformoven a jiných zařízení energetiky je hodnota soudobosti důležitá stejně jako výpočetní metody sítí.

Činitel náročnosti β - je poměr celkového maximálního příkonu P_{maxc} v nějakém období k instalovanému výkonu $P_i = \sum P_N$, tj. k součtu jmenovitých výkonů instalovaných spotřebičů.

$$\beta = \frac{P_{\max c}}{P_i} \leq 1 \quad (3.6)$$

Různost δ - je poměr maxim několika stejných zařízení nebo odběratelů k maximu současně jimi zapříčiněnému.

$$\delta = \frac{\sum P_{\max n}}{\sum P_{\max c}} \geq 1 \quad (3.7)$$

4. Analýza stávajícího stavu pro možnosti připojování nabíjecích stanic elektromobilů do distribuční sítě s ohledem na stabilitu chodu a denní odběrový diagram

Aby mělo smysl zabývat se pozitivními ať už ekologickými, či energetickými dopady provozu elektromobilů, měly by elektromobily tvořit nejméně 10 až 15 % celkového počtu automobilů, které jezdí po našich silnicích. Dle zdroje [7] je v České republice registrováno k 31.12.2010 celkem 4 515 885 osobních automobilů a autobusů, tzn., že požadovaných 10 až 15 % by znamenalo uvést do provozu kolem půl milionu elektrických osobních vozidel a autobusů zejména pro městskou hromadnou dopravu. Při průměrné akumulované energii cca 40 kWh na jedno vozidlo tak v síti vzniká akumulační prvek s okamžitou energií až 27 GWh (podle současnosti provozu vozidel) situovaný především do distribučních sítí velkoměst.

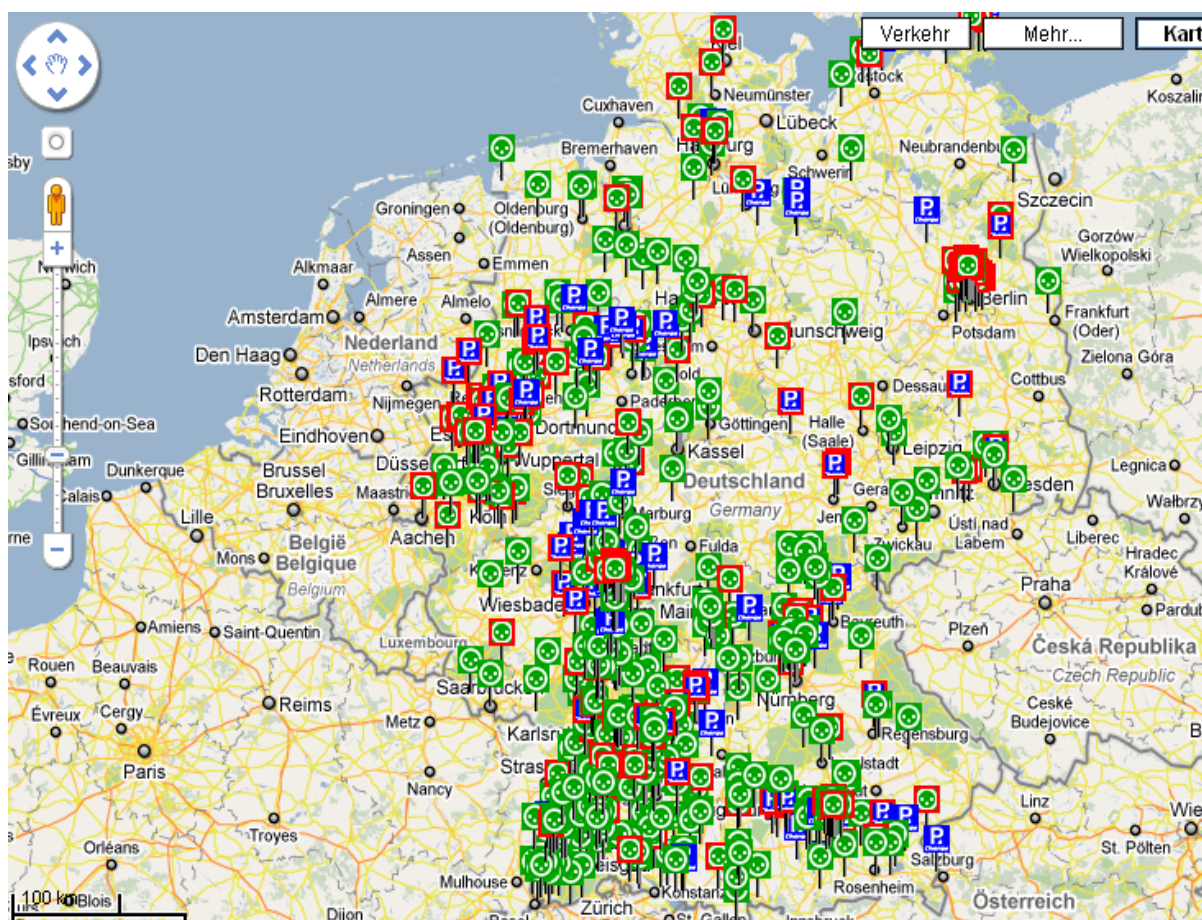
Klíčovým momentem však vždy zůstane zájem o využívání elektromobilů. Možnosti a zájem o zavedení elektromobilů v prostředí firem, ať už jako plnohodnotného dopravního prostředku firmy, či jako prostředku tzv. green marketingu firmy mapoval marketingový výzkum prováděný v r. 2010. [7] Výsledky tohoto výzkumu potvrdily, mj., že více než polovina firem (56 %) využívá vozidla výhradně v meziměstském provozu, což vyžaduje nárazově překonání větších vzdáleností (cca do 300 km). Většina velkých firem (pouze 3,8 % respondentů) využívá vozidla pouze ve městech, což vyhovuje předpokládané koncentraci nabíjecích stanic ve městech. Dalším důležitým zjištěním je, že 81 % respondentů není schopno definovat jak a kde by tato vozidla při jejich pořízení v současnosti nabíjela. Tyto a další problémy vyplývající z nedostatečné informovanosti a negativního postoje potenciálních zákazníků k potřebné infrastruktuře brání dalšímu rozšiřování této technologie. Podnikatelé nebudou mít o elektromobily zájem, pokud nebude dostatečně hustá a dostupná síť nabíjecích stanic, která zajistí nejen dojezd elektromobilů v jeho operační oblasti, ale umožní i občasný přejezd na středně velké vzdálenosti (cca do 300 km). To předpokládá rozmístění nabíjecích stanic podél hlavních silničních tahů ve vzdálenosti max. 50 - 60 km.

Proto, má-li se zvyšovat počet provozovatelů elektromobilů, stoupne rovněž nárok na potřebu vybudování dostatečně dimenzované sítě nabíjecích stanic a z této skupiny odběratelů vznikne poměrně významný odběratelský segment spotřebitelů elektrické energie. Distribuční sítě na území České republiky mají svou hustotu a možnosti přípojného výkonu dány historickým vývojem hustoty osídlení a struktury průmyslové výroby v dané lokalitě. Časové rozložení a velikost odběrů jsou v současné době poměrně přísně kontrolovány ze strany dodavatelů elektrické energie, zejména společnosti ČEZ Distribuce, která je technickým správcem převážné většiny distribučních sítí elektrické energie na území České republiky. [14] V mnoha lokalitách je velmi problematické posílení sítí pro dodávku energie nově vznikající infrastruktury nabíjecích stanic. Jejich hustota je v současnosti na území České republiky velmi nízká a je v podstatě nesrovnatelná s hustotou na území sousedního Německa. Z následujících obrázků, viz. obr. 4.1. a 4.2., které zobrazují hustotu nabíjecích sítí na území České republiky a Německa si lze vytvořit názornou představu o stupni rozvoje elektromobility na příslušném teritoriu.



Obr. 4.1 Mapa nabíjecích stanic elektromobilů na území České republiky [21]

Je nutné si uvědomit, že dostatečná hustota nabíjecích stanic po celém území je nezbytnou podmínkou pro přejezd elektromobilů mezi lokalitami s větší hustotou osídlení, příp. městskými aglomeracemi. V záměrech pro rozšíření elektromobility se především předpokládá využití elektromobilu jako prvku, který odlehčí vypjaté ekologické situaci na území velkoměst a zejména jejich center, rovněž však musí být zajištěn alespoň občasný přejezd elektromobilů mezi těmito lokalitami.



Obr. 4.2 Mapa nabíjecích stanic elektromobilů na území SRN [21]

Pro klasickou koncepci nabíjecí stanice je nutné, aby energie potřebná pro nabíjení elektromobilů byla k dispozici bez ohledu na možnosti sítě, např. ve městech v době polední přestávky, kdy provozovatelé elektromobilů tuto dobu využijí pro nabití, respektive dobíjení akumulátoru vozidla. Současně však v době zvýšeného zájmu o dobíjení vozidla může v distribuční síti probíhat odběrová špička spojená např. s provozem klimatizačních zařízení, takže na distribuční síť budou kladeny zvýšené nároky. Situace se tak v městských aglomeracích může stát kritická zejména v případě, dojde-li k výraznému zvýšení počtu elektromobilů a zavedení technologie rychlonabíjení.

Jedním ze základních kritérií pro další rozvoj distribučních sítí, resp. stanovení jejich stávajících možností bude stanovit množství energie potřebné pro nabíjení vozidel s ohledem na jejich předpokládané množství v dané lokalitě, dále stanovit průběh časového odběru potřebného pro nabíjení a konfrontovat tyto podmínky s možnostmi distribuční sítě jak z pohledu dimenzování napájecích rozvodů, tak z pohledu stávajícího odběrového diagramu.

Pro výpočet těchto požadavků bude nezbytně nutné stanovit v prvním kroku lokalitu, pro kterou bude rozvaha prováděna. Předpokladem bude výběr lokality na území Ostravy.

V současnosti je možné provést pouze první náhled na pokrytí energetických potřeb elektromobilů.

4.1 Odhad množství elektrické energie potřebné pro nabíjení vozidel

Množství spotřebované energie elektromobilů lze odhadnout na základě předpokládané výkonové struktury vozidel a jejich dojezdových vzdáleností. Potřeba energie pro průměrný dojezd elektromobilu 120 km ve třech charakteristických kategoriích nám udává tab. 1. Pro rozbor byly vybrány tři základní kategorie elektromobilů charakterizované rozdílným výkonem motoru. Kategorie „A” – malé městské vozidlo s trvalým výkonem trakčního motoru 10 kW, kategorie „B” – standardní vozidlo nižší střední třídy s trvalým výkonem trakčního motoru cca 30 kW a kategorie „C” – vyšší třídy s motorem 80 kW. Dojezdová vzdálenost bude u všech tří kategorií průměrně 120 km. Energie potřebná pro provoz vozidla byla stanovena zjednodušeným výpočtem opírajícím se o základní fyzikální vztahy pro výpočet energie z výkonu motoru vozidla.

Tab. 4.1. Energetická a odběrová náročnost z hlediska nabíjení vybraných kategorií elektromobilů pro jeden jízdní cyklus

Kategorie vozidla	Akumulovaná energie vozidla / 120 km $W_{AKA(A,B,C)}$	Nabíjecí proud		
		t = 8 hod.	t = 4 hod.	t = 0,5 hod.
A	13 300 Wh	5,1 A	10,2 A	81,6 A
B	30 000 Wh	10,2 A	20,4 A	163,2 A
C	73 600 Wh	25,5 A	51 A	408 A

Obdobným způsobem byla vypočtena pro uloženou energii a předpokládané jmenovité napětí akumulátoru 350 V velikost nabíjecího proudu pro tři různé doby nabíjení. Tyto doby byly stanoveny pro pravděpodobné režimy:

- t = 8 hod dlouhodobé (např. noční) nabíjení elektromobilu malým proudem na plnou kapacitu akumulátoru,
- t = 4 hod dobíjení elektromobilu v průběhu dne (např. vozidlo odstavené v průběhu pracovní doby, kolem polední přestávky, nebo pracovní schůzky),
- t = 0,5 hod tzv. rychlonabíjení např. v průběhu zastávky delší cesty.

Z tabulky vyplývá, že v převážné většině standardních nabíjecích míst by nemohlo být použito rychlonabíjení, tzn. nabití akumulátoru v čase kratším než 1 hod., což je základní předpoklad pro „masové“ rozšíření elektromobility. Z této bilance vyplývá, že praktické využití za stávajících technických možností distribuční sítě (jištění, průřezy rozvodů) mají pouze malá vozidla s množstvím uložené energie max. cca 15 kWh. I pro tato vozidla však nelze s ohledem na stávající vlastnosti akumulátorů rychlonabíjením dosáhnout plného nabití.

4.2 Odhad množství elektrické energie potřebné pro nabíjení vozidel v regionu Ostravy

Základní požadavek pro funkci aktivních nabíjecích stanic spočívá v tom, že musí být zajištěno neustálé cyklování energie při nabíjení a vybíjení této stanice. To tedy znamená, že musí být v rovnováze, na jedné straně odebraná energie stanovena počtem vozidel, které je možné připojit k dané stanici, na druhé straně možnosti napájecí sítě. Pro množství energie potřebné k nabíjení vozidel v ostravském regionu, je tedy nutné vyjít ze statistických údajů o počtu vozidel registrovaných v současné době.

Vyhodnocení příznivých vlivů akumulární nabíjecí stanice na energetickou síť v regionu Ostravy se musí opírat o pohled ze dvou stran.

Prvním, základním předpokladem řešení a dimenzování sítě nabíjecích stanic je vytvoření předpokladů pro dostatečný odběr elektrické energie v opakujících se cyklech, které lze provázat s cykly denního diagramu zatížení distribuční sítě. Jinými slovy, musí být vytvořen předpoklad dostatečného počtu provozovaných elektromobilů v okolí uvažované lokality, které mohou být potenciálními odběrateli energie pro nabití svého elektromobilu.

Druhým předpokladem úspěšné aplikace aktivní napájecí stanice v dané lokalitě je její pozitivní působení na síť. Vzhledem k poměrně vysoké investici do akumulátorů není možné, aby se poměry v síti připojením stanice byly minimálně, ale zhoršily. Řešení musí být natolik otevřené, aby umožnilo i využití netradičních a obnovitelných zdrojů energie.

Pokusme se provést odhad výhledu spotřeby elektrické energie v segmentu elektromobilů v horizontu let cca 2015 – 2020 pro region Ostravy.

Vydeme-li ze současného stavu, dle statistického zdroje Ministerstva vnitra ČR je v Ostravě k 31.12.2010 registrováno celkem 165 944 osobních vozidel. [22] Z různých zdrojů z úrovně EU, prohlášení představitelů některých států apod. se uvažuje s elektromobily po roce 2015 jako doplňkovým zdrojem dopravy, který bude pokrývat cca 10 – 20% celkového počtu vozidel. (údaje nejsou jednotné, liší se v časovém výhledu, státu apod.)

Budeme-li uvažovat s předpokladem cílového stavu pro uvažované období cca 2015 – 2020, že z nyní registrovaných vozidel bude cca 15% elektromobilů, vzniká poměrně optimistický předpoklad, že se v regionu Ostravy bude kolem roku 2020 pohybovat cca 25 000 elektromobilů.

Pokud navážeme na dříve uvažovanou strukturu kategorií elektromobilů, dá se v souladu se současnými trendy předpokládat, že v provozu bude převažující množství malých elektromobilů sloužících pro zajištění denních dopravních potřeb s minimálními náklady při nepříliš velké dojezdové vzdálenosti. Dá se také předpokládat, že v brzké době i Ostravu postihnou problémy velkých městských aglomerací, tzn., vysoká hustota provozu, malé prostory pro parkování, čili na základě tohoto výhledu se dá předpokládat, že elektromobily jako typicky městské vozidla se budou uplatňovat zejména v kategorii malých vozidel.

Výrazně menší počet elektromobilů lze předpokládat v kategorii, která odpovídá současné velmi rozšířené střední třídě automobilů, u níž budou zákazníci požadovat v podstatě srovnatelné vlastnosti, na jaké byli zvyklí u vozidel se spalovacími motory. Je předpoklad, že tato vozidla však budou podstatně dražší.

Poslední kategorii, která se již nyní poměrně úspěšně na trhu prosazuje, je kategorie „supersport“ elektromobilů, která jsou převážně využívána pro volný čas. Patří však k nejvýkonnějším (typický současný představitel elektromobil TESLA – vystavovaný na veletrhu AMPER 2011)

Skladba provozovaných elektromobilů v regionu Ostravy by v souladu s členěním dle tab. 4.1. mohla vypadat takto:

70 % elektromobilů v kategorii „A“ - tj. $N_{el.A} = 17\,500$ elektromobilů

25 % elektromobilů v kategorii „B“ - tj. $N_{el.B} = 6\,250$ elektromobilů

5 % elektromobilů v kategorii „C“ - tj. $N_{el.C} = 1\,250$ elektromobilů

Na základě uvedeného rozdělení vypočteme energii akumulovanou ve vozidlech pro denní dojezd cca 120 km, což by odpovídalo dennímu cyklu nabíjení.

Akumulovaná energie ve všech vozidlech:

$$W_{AKA(cek)} = N_{elA} \cdot W_{AKA(A)} + N_{elB} \cdot W_{AKA(B)} + N_{elC} \cdot W_{AKA(C)} \quad (4.1)$$

$$W_{AKA(cek)} = 17\,500 \cdot 13\,300 + 6\,250 \cdot 30\,000 + 1\,250 \cdot 73\,600 = 512\,250\,000 \text{ [Wh]} = 512,25 \text{ [MWh]}$$

Pro výpočet denní spotřeby energie elektromobility je nutné uvažovat s činitelem soudobosti provozu, který v sobě bude zahrnovat jak vozidla, která nejsou v provozu, tak vozidla, která v průměru najedou denně odlišný počet kilometrů, než předpokládaných 120 km. Dle mého odhadu bude soudobost zvyšovat i fakt, že provoz elektrovozidel bude levnější a proto budou i více využívána. Předpokládejme, že v provozu s denním limitem 120 km bude cca 80 % vozidel, tedy soudobost $k_{se} = 0,8$.

Denní energie pro elektromobilitu akumulovaná v elektromobilech na území Ostravy tak bude:

$$W_{celk(Ostrava)} = s \cdot W_{AKA(cek)} = 0,8 \cdot 512,25 = 409,80 \text{ [MWh]} \quad (4.2)$$

Zahrneme-li do výpočtu účinnost přeměny při nabíjení (nabíječ, účinnost nabíjecího cyklu akumulátoru aj.) odhadem $\eta_{nab} = 0,75$ dostaneme předpokládanou spotřebu energie ze sítě:

$$W_{celksit(Ostrava)} = W_{celk(Ostrava)} / \eta_{nab} = 409,80 / 0,75 = 546,40 \text{ [MWh]} \quad (4.3)$$

Pokud bychom předpokládali nejlepší možný stav, že elektromobily budou nabíjeny rovnoměrně v době 12 hod/den, předpokládala by tato energie navýšení odběru z distribuční sítě v Ostravě o cca 45,5 MW instalovaného výkonu, což není z pohledu sítě zanedbatelné.

Pokud bychom uvedenou nabíjecí energii měli zajišťovat pomocí stávající sítě, znamenalo by to, zhruba nárůst instalovaného výkonu v lokalitách v důsledku nabíjecích stanic, okolo zhruba 0,5 MW, s tím, že tento výkon by musel být zajištěn v průběhu celého dne, tzn., že o tento výkon by musely být navýšeny i předpokládané špičkové odběry v denním diagramu. Vzhledem k tomu, že nabíjecí stanice pro rychlonabíjení se předpokládají s umístěním zejména v centrech aglomerací a sídlišť a zejména v místech kde se vyskytují pracovní příležitosti, bylo by velice obtížné obnovit

sít' z hlediska jejího dimenzování pro toto navýšení. Navíc v tomto směru by její využití v nočních hodinách bylo pravděpodobně neefektivní, protože majitelé elektromobilů by nabíjeli svá auta doma za sníženou sazbu tzv. „nočního proudu“, tzn., nabíjeli by svá vozidla v místech bydliště, která jsou dislokována v okolí Ostravy.

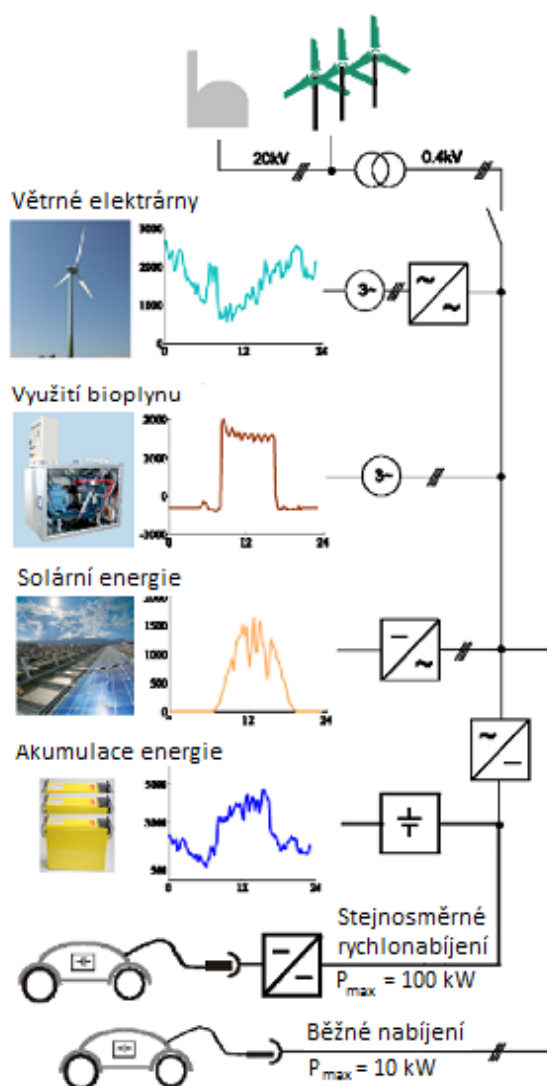
V konečném důsledku, by se tedy náklady na rekonstrukci a posílení sítě ukázaly jako neefektivní a málo využívané právě v době, kdy v centru Ostravy by se vyskytoval přebytek energie v síti. Z tohoto pohledu by sít' akumulčních stanic přinesla velkou výhodu, protože bez nároku na kabeláž by mohlo dojít v noci k nabíjení akumulátorů aktivních nabíjecích stanic, které nejsou plně vytížené nabíjením elektromobilů. Tato akumulace, na rozdíl od nabíjení elektromobilů by mohla být jako stacionární prvek distribuční sítě řízena dispečersky.

5. Návrh koncepčního řešení nabíjecí stanice elektromobilů s minimálními vlivy na napájecí sít'

Koncepce nabíjecí stanice musí zaručit, aby energie potřebná pro nabíjení elektromobilů byla k dispozici bez ohledu na možnosti sítě, např. v době odstavení vozidla a jeho nabíjení i v době odběrového maxima v síti. V tomto smyslu budeme hovořit o dostatečném množství akumulované energie, čili o energetické dostatečnosti akumulční stanice, která bude směřovat pokud možno k vyrovnané energetické bilanci nabíjecí stanice v rámci denního diagramu zátěže, resp. při využití obnovitelných zdrojů v ideálním případě k energetické nezávislosti na síti.

Dalším klíčovým požadavkem na aktivní nabíjecí stanici je potlačení zpětných vlivů různých typů polovodičových nabíječů, které se navíc budou mezi sebou nezávisle připojovat k distribuční síti v různých denních dobách. V tomto směru musí navíc aktivní nabíjecí stanice plnit roli aktivního polovodičového filtru, který bude schopen uvedené zpětné vlivy dokonale potlačit.

Proto musí být nabíjecí stanice vybavena vlastním akumulčním zdrojem, který bude pomocí vazebního polovodičového měniče schopen svou akumulovanou energií nejen překrýt omezení dodávek energie ze sítě, ale umožní i využití různých typů obnovitelných zdrojů, které budou v dané lokalitě dostupné. Možnou strukturu takové sítě ukazuje obr. 5.1.



Obr. 5.1 Začlenění aktivní nabíjecí stanice do struktury obnovitelných zdrojů s akumulací [1]

Charakteristickým rysem je využívání více zdrojů energie, což významně snižuje zejména špičkové zatížení distribuční sítě. Zcela typické je využití netradičních a obnovitelných zdrojů, jejichž časové rozložení dodávek energie do sítě spolu s akumulací energie do nabíjecí stanice, vytváří pro síť stabilizující prvek. Tomuto procesu napomáhá i způsob řízení polovodičových měničů, které zprostředkovávají vazby jednotlivých zdrojů i akumulátoru se sítí.

Zapojení ať už jedné, či více nabíjecích stanic musí kromě své stabilizační funkce plnit ještě řadu dalších funkcí. Jde zejména o:

- minimalizace odběru jalové energie ze sítě a dodržení podmínek EMC jak provozu sítě, tak vř rušení,
- dosažení co největší účinnosti přeměny energie u všech typů měničů,
- možnost dálkového ovládání nabíjecích režimů z dispečinku (např. přerušit nabíjení vozidla ze sítě a přejít na nabíjení z akumulátoru nabíjecí stanice),

- zajištění komunikace pro účtování elektrické energie jak z pohledu provozovatele elektromobilu, tak z pohledu majitele nabíjecí stanice a dodavatele (distributora) elektrické energie.

Dojde-li ke splnění všech výše uvedených podmínek, bude představovat aktivní nabíjecí stanice poměrně složité technické zařízení.

5.1 Základní struktura aktivní nabíjecí stanice

Jak vyplývá z obr. 5.1, je třeba rozlišit, zda bude elektromobil nabíjen konvenčním způsobem, tzn. dlouhodobé nabíjení akumulátoru vozidla relativně malým proudem, nebo tzv. rychlonabíjením.

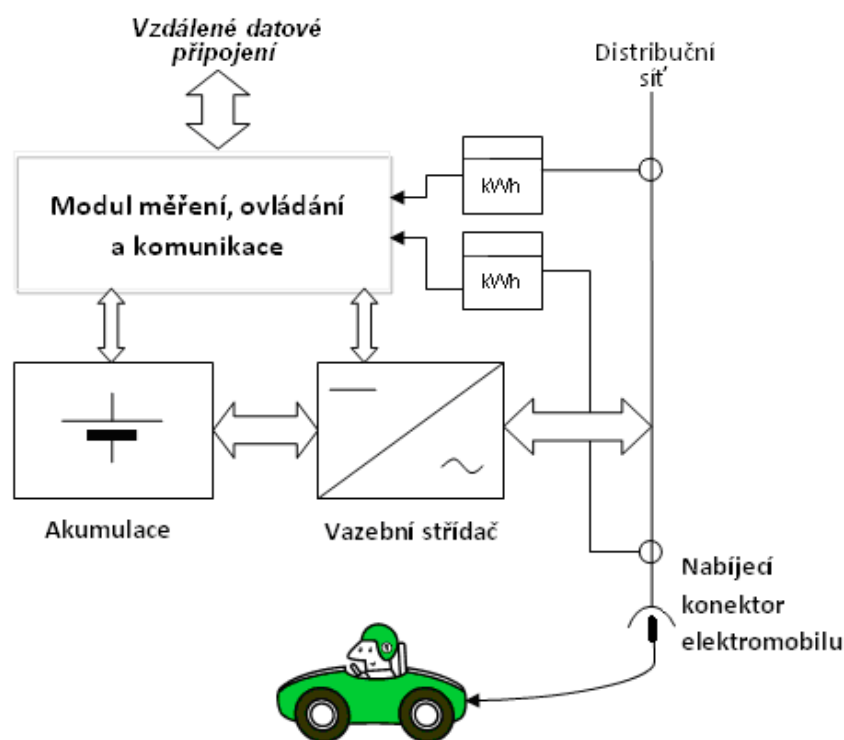
Pro konvenční nabíjení obvykle vozidlo využívá vlastní nabíječ připojený přímo ke střídavé rozvodné síti. Nabíjecí příkon obvykle nepřekračuje 10 – 15 kW. Tato jednoduchá metoda nabíjení však obvykle přináší problémy se zvýšeným odběrem energie v pásmu 3. a 5. harmonické, což je dáno koncepcí spínaného zdroje v nabíječi elektromobilu. Při masovém nasazení elektromobilů a jejich nabíjení z běžné distribuční sítě bez opravných prostředků by tento způsob nabíjení mohl vést v lokalitách s větším počtem elektromobilů ke značným problémům s kvalitou elektrické energie. S ohledem na běžné úrovně jištění tato koncepce neumožňuje tzv. rychlonabíjení.

Proces rychlonabíjení umožňuje nabití akumulátoru vozidla v době kratší než 1 hod., což představuje nabíjení proudem až několikanásobně větším, než je proud ampérhodinové kapacity akumulátoru. Základní porovnání velikostí těchto proudů je provedeno v tab. 4.1. Díky velkým nabíjecím proudům se více předpokládá nabíjení z inteligentních stejnosměrných nabíjecích stojanů s nabíjecím příkonem vozidla až 100 kW. V současnosti však ještě nejsou běžně dostupné akumulátory pro takový režim nabíjení¹, navíc pulsní nabíječ, který by tento režim umožňoval, by byl poměrně těžký a rozměrný. Jeho umístění jako součást elektromobilu by v současnosti bylo málo pravděpodobné.

Dále se budeme zabývat řešením koncepce aktivní nabíjecí stanice se střídavým výstupem. Blokové schéma takové stanice je uvedeno na následujícím obrázku.

Uvedená koncepce nabíjecí stanice využívá paralelní připojení akumulační části k síťovému přívodu nabíjecí zásuvky. Základní výkonové bloky tvoří obousměrný střídač, který umožňuje obousměrný tok energie mezi sítí a akumulátorem. Toto uspořádání umožňuje jak samostatné nabíjení elektromobilu pouze ze sítě, tak společné nabíjení částečně z akumulátoru nabíjecí stanice a částečně ze sítě, tak dobíjení akumulátoru ze sítě v případě, že na nabíjecí zásuvce není připojen elektromobil. Speciální funkcí celé jednotky může být filtrace zpětných vlivů od nabíječe vozidla do sítě.

¹ Na veletrhu elektrotechniky AMPER 2011 v Brně vystavovala společnost ABB model rychlonabíjecí stanice s možností nabíjení 50% kapacity akumulátoru za 15 minut maximálním stejnosměrným proudem až 200 A. K prvnímu umístění dle informací pracovníka ABB zatím nedošlo.



Obr. 5.2 Struktura nabíjecí stanice pro nabíjení elektromobilů

Celá soustava je řízena jednotkou měření, ovládání a komunikace, která zajišťuje řízení a nastavování výše uvedených provozních stavů, sběr a zpracování dat o odebrané energii na výstupu i vstupu, jednotky pro vyúčtování energie a zároveň zajišťuje komunikaci s nadřazeným dispečerským a fakturačním systémem.

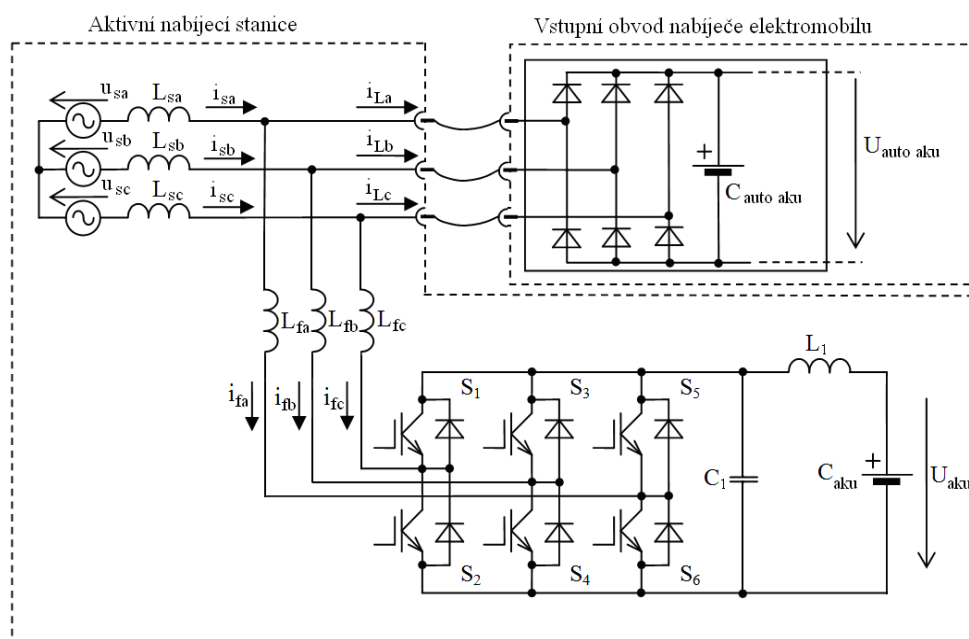
Výhoda uvedeného zapojení spočívá ve značné variabilitě provozních stavů a tím zajištění vysoké provozní spolehlivosti.

5.2 Obvodové řešení aktivní nabíjecí stanice

Jak vyplývá z předchozího rozboru, musí výkonová část aktivní nabíjecí stanice splňovat následující požadavky:

- vysoká dynamika řízení provozních stavů,
- čtyřkvadrantový provoz vzhledem k síti,
- velký rozsah nabíjecích i kompenzačních výkonů,
- aktivní filtrace zpětných vlivů nabíječů elektromobilů,
- vysoká účinnost přeměny elektrické energie.

K dosažení těchto požadavků, zejména s ohledem na zvýšenou účinnost procesů přeměny elektrické energie ve střídači nabíjecí stanice bylo vytvořeno následující schéma na obr. 5.3.



Obr. 5.3 Schéma zapojení aktivní nabíjecí stanice

Na tomto obrázku je hlavní cesta nabíjení představována zdrojem sítě u_{sa} , u_{sb} , u_{sc} a síťovými reaktancemi L_{sa} , L_{sb} , L_{sc} . Při standardním uspořádání sestavy nabíječe elektromobilu je nabíjecí síť připojena přes nabíjecí zásuvku a přípojný kabel do nabíječky elektromobilu, resp. jejího vstupního obvodu. Vzhledem k tomu, že převážná většina současných elektromobilů využívá akumulátory s nízkými hodnotami napětí do cca 400 V, musí být použita koncepce se vstupním diodovým usměrňovačem, filtračním kondenzátorem a následným snižovacím pulsním měničem. Vstupní obvod této koncepce je zobrazen rovněž na obr. 5.3.

Problémovou vlastností této jinak velmi jednoduché a rozšířené koncepce pulsních nabíječů je odběr zejména 5. a 7. harmonické ze sítě, což kromě zvýšeného zatížení sítě ve špičce představuje ještě její zatížení deformačním výkonem. Hromadné nabíjení elektromobilů by tak generovalo do sítě další problémový stav.

Parametry distribuční sítě jsou na obr. 5.3 reprezentovány náhradními parametry. Zdroje napětí u_{sa} , u_{sb} , u_{sc} představují napětí sítě naprázdno, cívky L_{sa} , L_{sb} , L_{sc} představují náhradní indukčnost (reaktanci) sítě, která je tvořena zejména zkratovou reaktancí napájecího transformátoru, příp. doplněna o další filtrační cívky pro impedanční přizpůsobení nabíjecí stanice k síti.

Pro vyrovnání energetické bilance je paralelně k výstupním svorkám sítě přes filtrační tlumivky L_{fa} , L_{fb} , L_{fc} připojen třífázový střídač v můstkovém zapojení. Na stejnosměrné straně střídače je připojen filtrační kondenzátor C_1 a z něj je přes vazební tlumivku L_1 připojen akumulátor C_{aku} , který slouží jako zásobník energie. Uvedený polovodičový střídač, tvořený na schématu tranzistory S_1 až S_6 , je synchronizován s kmitočtem sítě a jeho řízení umožňuje jak chod ve střídačovém, tak v usměrňovačovém režimu. V režimu střídače se uplatňuje více vedení tranzistorů, a energie se přenáší z akumulátoru C_{aku} do sítě, kde se proudy i_{fa} , i_{fb} , i_{fc} při své záporné polaritě vzhledem k orientaci na obrázku sčítají s proudy sítě i_{sa} , i_{sb} , i_{sc} a odlehčují tak napájení ze síťových zdrojů

u_{sa} , u_{sb} , u_{sc} .

V usměrňovačovém režimu převládá ve střídači vedení zpětných diod, takže se energie odebírá ze sítě, proudy i_{fa} , i_{fb} , i_{fc} odečítají od proudů sítě i_{sa} , i_{sb} , i_{sc} napájecí sítě zdroje u_{sa} , u_{sb} , u_{sc} tak musí zajistit nejen potřebný proud pro nabíjení akumulátoru vozidla prostřednictvím $C_{auto\ ak}$, ale navíc ještě dochází k dobíjení akumulátoru aktivní nabíjecí stanice C_{aku} .

V případě nečinnosti paralelní aktivní části mohou být elektromobily nadále nabíjeny pouze ze sítě, avšak se všemi výše uvedenými nedostatky.

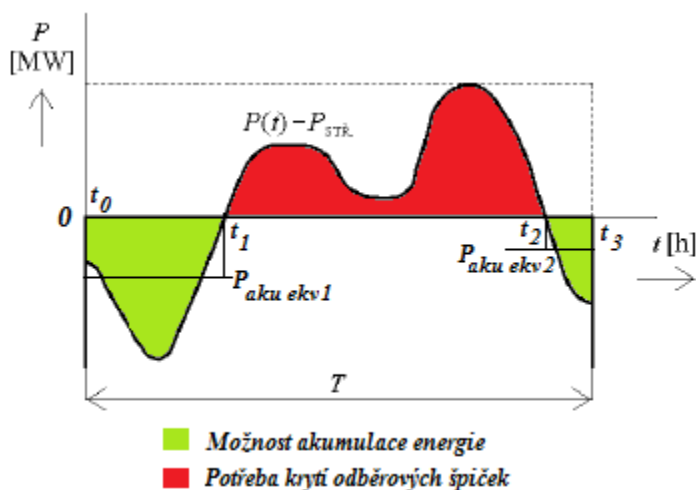
6. Rozbor a denní bilance odběrů aktivní nabíjecí stanice

Řešení navržené v předchozí kapitole, jak vychází z popisu činnosti, umožňuje nabíjecí stanicí nejen krýt potřebu nabíjecí energie elektromobilu v době, kdy je jí v síti nedostatek pomocí čerpání energie z pomocného akumulátoru aktivní nabíjecí stanice C_{aku} , ale umožňuje zároveň při vhodném řízení střídače potlačovat negativní zpětné vlivy nabíječe elektromobilu na napájecí síť, jak na základní harmonické dodáním jalového výkonu, tak v oblasti harmonických vyšších řádů. Výhodou řešení je také to, že v případě nedostatku energie v pomocném akumulátoru může stanice pracovat pouze jako tzv. paralelní aktivní filtr. [2,14]

U malých nabíjecích stanic s 1 - 3 nabíjecími zásuvkami bude vliv na DDZ minimální, proto nemá smysl se jimi zabývat. Akumulátor aktivní stanice má své odůvodnění pouze s ohledem na možnost nabíjení výkonnějších vozidel a nepřetěžování sítě.

Při provozu elektrických vozidel se u jejich převážné většiny předpokládá provoz v denních hodinách, což umožňuje základní nabíjení v nočních hodinách např. elektrickou energií za snížené sazby přímo v místě garážování vozidla přes noc ze soukromé zásuvky. V případě obyvatel velkoměst se však dá předpokládat, že budou vozidla nabíjena z veřejných nabíjecích stanic v době jeho nočního odstavení. Z hlediska dopadu na denní odběrový diagram má smysl se zamýšlet především na dopad působení aktivních nabíjecích stanic s větším počtem zásuvek a tedy i větší uloženou energií v akumulátoru.

Rozbor navazuje na popis parametrů DDZ v kap. 3., situaci nám popisuje obr. 6.1, který je odvozen od obr. 3.3.



Obr. 6.1 Znáznornění možnosti akumulace

Základním požadavkem je zrovnoměnění odběru elektrické energie ze sítě na střední hodnotu výkonu DDZ. Jestliže odečtením superponujeme křivku DDZ na hodnotu $P_{stř}$, bude křivka DDZ v závislosti na jejím tvaru vymezovat několik ploch. Kladné údaje nad osou (velikost přesahuje střední výkon) budou vyznačovat oblast špičkového, nebo pološpičkového odběru energie ze sítě, záporné údaje pod osou znázorňovat oblast, ve které je energie v síti „přebytečná“ vzhledem ke střední hodnotě výkonu, a tudíž by byla vhodná její akumulace. Průsečíky t_1 a t_2 této vynesené křivky s osou nám v hlavních rysech pomohou stanovit časový interval pro akumulaci a časový interval se zvýšeným odběrem energie s možností akumulace energie. Velikost možné akumulované energie v průběhu jednoho dne vypočteme ze vztahu:

$$W_{AKU1} = \int_{t_0}^{t_1} (P(t) - P_{stř}) dt = P_{akuekv1} (t_1 - t_0) \quad (6.1)$$

$$W_{AKU2} = \int_{t_2}^{t_3} (P(t) - P_{stř}) dt = P_{akuekv2} (t_3 - t_2) \quad (6.2)$$

Celková energie, která se dá z DDZ akumulovat v průběhu dne je daná součtem:

$$W_{AKUD} = W_{AKU1} + W_{AKU2} \quad (6.3)$$

Pokud využijeme k akumulaci celou možnou energii W_{AKUD} , dojde k tomu, že síť bude i v nočních hodinách zatížena výkonem $P_{stř}$, což přináší hospodárnější využití sítě. Nepotlačuje to však rozsah špičkových odběrů, neboť ty jsou dány jinými spotřebiči a elektromobily, které jsou v provozu přes den tak pouze „šetří“ pohonné hmoty. Podstatné však je, že pokud budou elektromobily v průběhu dne potřebovat další nabití, mohou je v síti aktivních nabíjecích stanic uskutečnit z energie uložené v akumulátoru stanice, a tím již nebudou přispívat k dalšímu zvětšení denní špičky.

Pro celkové dimenzování přívodu je vhodné určit hodnoty ekvivalentních výkonů pro ranní i večerní akumulaci $P_{akuekv1}$ a $P_{akuekv2}$, které odpovídají konstantnímu (rovnoměrnému) toku energie po celou dobu akumulace.

Bude-li aktivní nabíjecí stanice spojena s fotovoltaickou elektrárnou, bude akumulátor stanice vyrovnávat špičkové dodávky energie ze solárních panelů a tím přispěje nejen ke zvýšení účinnosti nabíjecí stanice, ale také k potlačení negativních dopadů fotovoltaiky na stabilitu sítě.

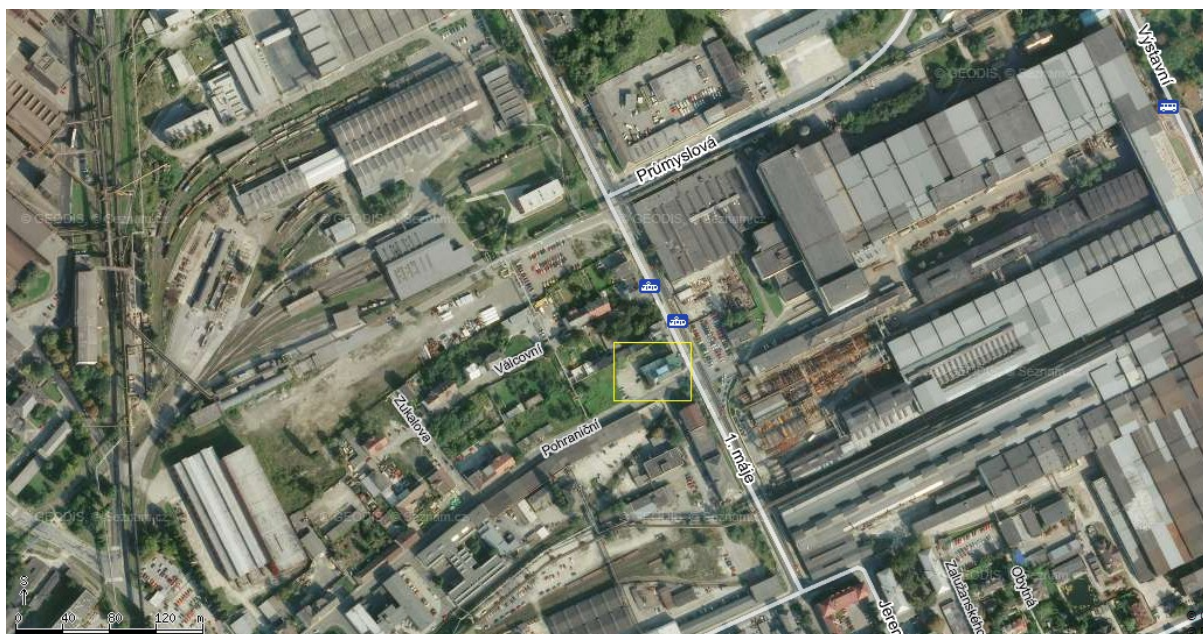
Vzhledem k síti je v nočních hodinách nepodstatné, zda je nabíjen elektromobil, nebo akumulátor stanice. Prioritou by mělo být nabití elektromobilu, pokud je připojen, ve zbývajícím čase může být dobíjen akumulátor stanice. V případě dostatečně dimenzované přípojky stanice mohou oba děje probíhat současně. Nabíjení akumulátoru stanice by však nemělo překročit mezní časy t_1 a t_2 stanovené pro akumulaci ze sítě.

V případě, že stanice bude součástí Smart Grids, nebo Micro Grids, měla by být vybavena možností dálkového ovládání z dispečinku, nebo řídicího systému sítě.

7. Posouzení možnosti umístění nabíjecí stanice ve vybrané lokalitě a vyhodnocení dopadů na energetické poměry

Diplomová práce vytváří mimo jiné také modelové řešení, jak by se v budoucnu mohlo postupovat při rozmísťování nabíjecích stanic elektromobilů v souvislosti se stavem distribuční sítě. Proto, při volbě lokality musí být přihlíženo k aktuálním znalostem dané lokality s ohledem na dostupnost údajů o konfiguraci distribuční sítě a propojení napájecích transformátorových stanic, dále k intenzitě využívání lokality z pohledu pracovních příležitostí a v neposlední řadě také prostorovými možnostmi pro samotnou realizaci nabíjecích stanic.

V této souvislosti se pro řešení uvedené problematiky jeví jako velice výhodné využít areál Technologického centra Ostrava, který se nachází na křižovatce ulic 1. máje a Pohraniční, na rozhraní městských částí Mariánských Hor a Vítkovic. Umístění je zřejmé z přiložené mapky na následujícím obrázku.



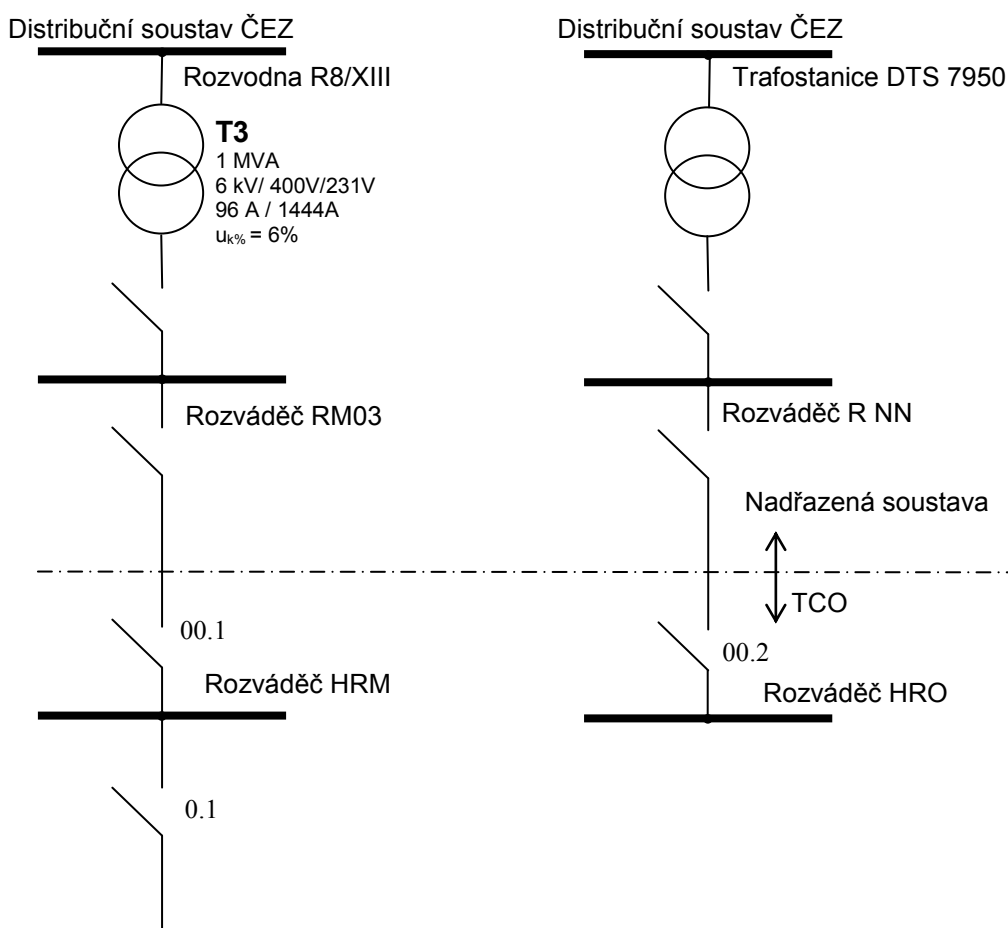
Obr. 7.1 Vybraná lokalita Technologického centra Ostrava

Technologické centrum Ostrava (dále TCO) je společným výzkumným pracovištěm Vysoké školy báňské – TU Ostrava a několika komerčních subjektů – 1. inovační a.s., Dodávky automatizace a.s. a jiné. Výhodnost volby této lokality spočívá především v dokonalé znalosti energetických poměrů v daném místě, připravovanou vybaveností centra dostatečně dimenzovanými akumulátory elektrické energie i vybaveností různými typy zdrojů elektrické energie. Jak vyplývá z přiloženého obrázku, je výhodou dostatečný prostor pro realizaci nabíjecích stanic na pozemku TCO. Z leteckého snímku je také zřejmé, že lokalita se nachází v silně industriální oblasti s vysokou koncentrací jak firem, tak pracovníků, což dává předpoklad využití nabíjecích stanic v průběhu pracovní doby. Tím vzniká reálná možnost využívání aktivní nabíjecí stanice v době energetické

špičky pro nabíjení elektromobilů, a jejího dobíjení v nočních hodinách, kdy je intenzita výroby v okolních podnicích nižší.

7.1 Struktura napájení v místě aktivní nabíjecí stanice

Situaci v napojení TCO na distribuční soustavu znázorňuje přiložené schéma na obr. 7.2. Napájení areálu TCO je provedeno z distribuční soustavy ČEZ z rozvodny R8/XIII z vysunutého transformátoru T3 typu ATS 792/6, výrobce BEZ Bratislava $S_n = 1000$ kVA, převod 6 / 0,4/0,231 kV se jmenovitým proudem primáru $I_{n1} = 96$ A a sekundáru $I_{n2} = 1444$ A, zapojení Dyn1, $u_k\% = 6\%$, přepínání odboček $\pm 2 \times 2,5\%$ na primární straně při vypnutém transformátoru.



Obr. 7.2 Schéma napojení Technologického centra Ostrava na distribuční síť [13]

Přívod je přiveden přes rozvaděč RM 03 do rozvaděče HRM v TCO v napěťové soustavě 3 x 400 V.

Druhý záložní přívod je proveden z distribuční soustavy ČEZ z trafostanice DTS 7950 do rozvaděče HRO v TCO. V současnosti je v provozu pouze přívod z rozvodny R8/XIII, což vyhovuje záměru pro získání aktuálního denního diagramu zatížení.

7.2 Rozbor výhledu energetické situace spojené s elektromobilitou na území Ostravy

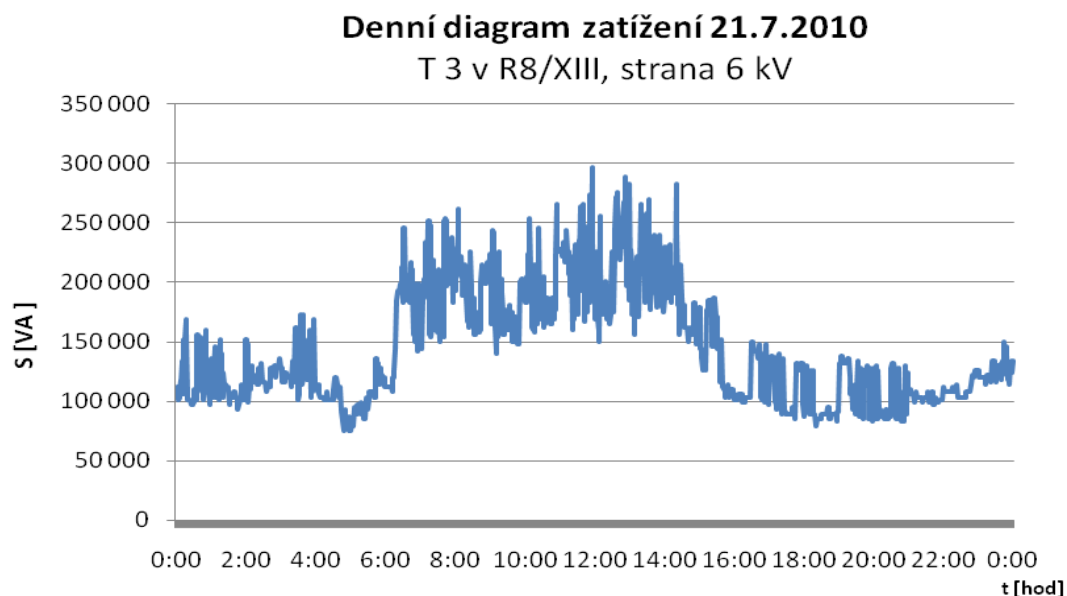
Na základě uvedeného rozboru výhledové situace v kap. 4.2 lze předpokládat, že se v uvedené lokalitě bude vyskytovat dostatečné množství elektromobilů, které zajistí cyklování akumulárního zdroje aktivní nabíjecí stanice. V současnosti vzniká kromě výše uvedených údajů pro nabíjení soukromých elektromobilů také možnost nabíjení elektrobusů Dopravního podniku Ostrava.

Další rozbor je proto možné provádět již jen s ohledem na požadavky sítě a denního diagramu zatížení.

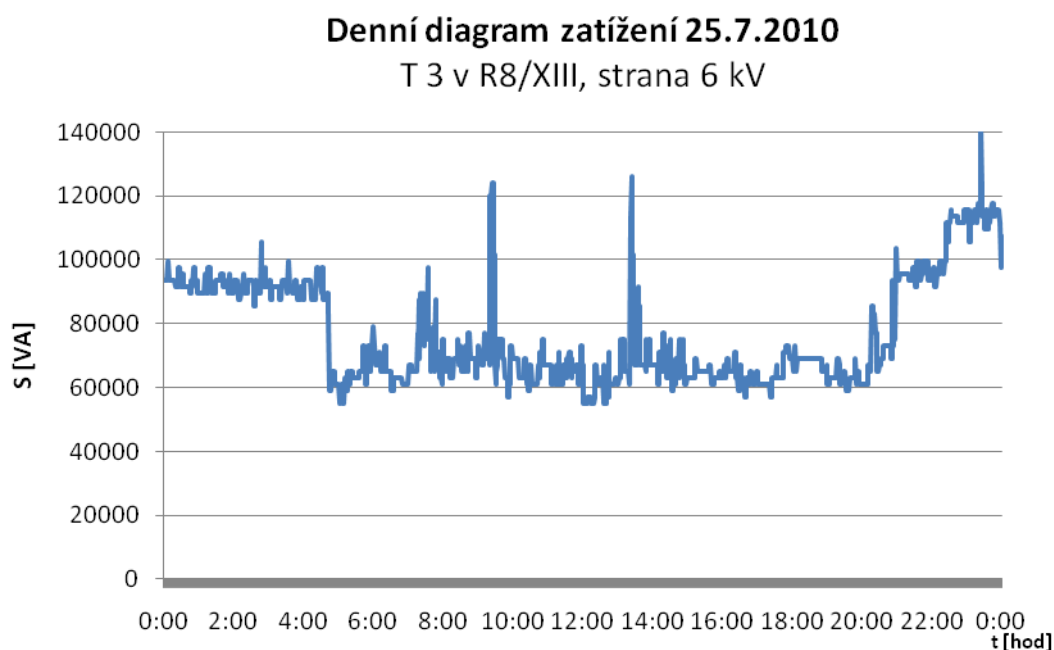
7.3 Denní energetická bilance aktivní nabíjecí stanice ve vybrané lokalitě

S ohledem na předchozí rozbor se pokusíme vyvodit dopad aktivní nabíjecí stanice na denní diagram zatížení v lokalitě TCO. Pro posouzení je nutné znát obvyklé průběhy DDZ. Na základě údajů poskytnutých z ČEZ Distribuce byly vybrány čtyři charakteristické diagramy zatížení na výstupu transformátoru T3 z rozvodny R8/XIII. Jedná se o diagram charakterizující pracovní den v letním a zimním období a den pracovního volna v letním a zimním období.

Průběhy denního diagramu zatížení v letních měsících jsou uvedeny na následujících obrázcích.



a)



b)

Obr. 7.3 Denní digramy zatížení v letních měsících

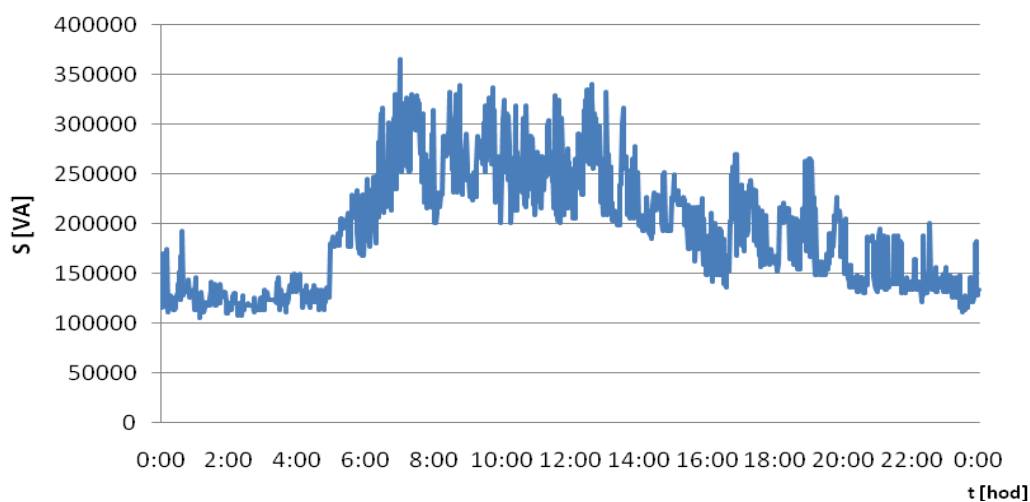
a) pracovní den 21.7.2010

b) den pracovního volna 25.7.2010

Pro celkové vyhodnocení jsou uvedeny průběhy denního diagramu zatížení v zimních měsících.

Denní diagram zatížení 19.1.2011

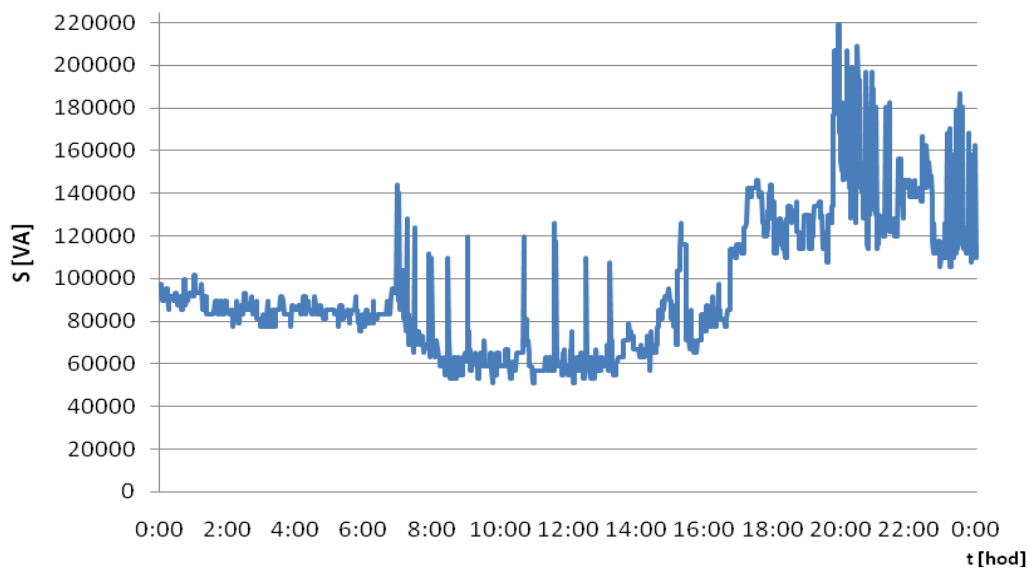
T3 v R8/XIII, strana 6 kV



a)

Denní diagram zatížení 23.1.2011

T3 v R8/XIII, strana 6 kV



b)

Obr. 7.4 Denní digramy zatížení v zimních měsících

a) pracovní den 19.1.2011

b) den pracovního volna 23.1.2011

7.4 Hledání metody pro výpočet velikosti akumulátoru

Cílem této metody je stanovení postupu pro výpočet optimální velikosti akumulátorové baterie pro daný typ aktivní nabíjecí stanice. Pod pojmem typ aktivní nabíjecí stanice pro účely této práce rozumíme:

- a) osamělou malou stanicí v dané lokalitě - tzn. např. 2 nabíjecími místy je doplněna místní čerpací stanice v obci poblíž spojovací komunikace dvou měst,
- b) skupinová stanice - typickým představitelem mohou být nabíjecí stanice podél parkovacího pásu na rozlehlé ulici, nebo třídě ve velkoměstě s cca 10 nabíjecími místy,
- c) centrální stanice - dokonale propracovaná infrastruktura nabíjecích míst pro současné nabíjení většího počtu elektromobilů, např. ve vyhrazeném podlaží patrových centrálních garáží v centru velkoměsta. Lze uvažovat o počtu 10 a více nabíjecích míst.

Je zřejmé, že pro každou z těchto stanic musí být zvolen jiný přístup k dimenzování velikosti podpůrného akumulátoru aktivní nabíjecí stanice. Tento přístup musí respektovat energetickou potřebu elektromobilů na straně jedné a potřeby sítě s ohledem na DDZ na straně druhé. Všechny strategie předpokládají, že struktura stanice využívá jeden společný akumulátor a jeden vazební měnič, který vyrovnává a kompenzuje odběry směrem k síti. Řešení se liší počtem nabíjecích zásuvek s měřením energie odebrané elektromobilem.

7.4.1 Výpočet velikosti akumulátoru malé aktivní nabíjecí stanice

U tohoto typu stanice se dá předpokládat, že velikostí svých odběrů výrazně neovlivní DDZ v dané lokalitě. U tohoto typu stanice se však dá očekávat požadavek rychlonabíjení stejnosměrnými proudy až cca 200 – 250 A, což jednoznačně přítomnost akumulované energie ve stanici vynucuje. Základním kritériem pro výpočet tedy bude předpoklad počtu nabíjených vozidel na jednu nabíjecí zásuvku s odhadovanou střední kapacitou akumulátoru. Je důležité vzít v úvahu, že současné akumulátory neumožňují metodami rychlonabíjení nabít plnou kapacitu akumulátoru vozidla. Maximum se pohybuje kolem 80 % jmenovité kapacity akumulátoru vozidla. S dostatečnou rezervou tedy lze předpokládat nabití jednoho vozidla na průměrný interval 1 hod. v celém dni, tzn. obsluhu 24 vozidel za jeden den na jedné nabíjecí zásuvce. Za referenční hodnotu velikosti energie uložené ve vozidle můžeme považovat velikost pro vozidla skupiny „B“ (tab. 4.1) $W_{AKA(B)} = 30 \text{ kWh}$, tedy za celý den spotřebovaná energie:

$$W = 24 \cdot W_{AKA(B)} = 24 \cdot 30 \text{ kWh} = 720 [\text{kWh/den}] \quad (7.1)$$

Pokud tuto spotřebu rozpočítáme na potřebu napájecího výkonu ze sítě na jeden den:

$$P_{AKA(B)} = \frac{W}{24} = \frac{720}{24} = 30 [\text{kW}] \quad (7.2)$$

V trojfázové soustavě 3 x 400 V vypočteme celodenní ekvivalentní fázový proud:

$$I_{f(ekv)} = \frac{P_{AKA(B)}}{\sqrt{3} \cdot U_s} = \frac{30000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 32,9 [A] \quad (7.3)$$

Z výpočtu vyplývá, že ekvivalentní fázový proud $I_{f(ekv)} = 32,9$ A, který by za stanovených podmínek ze sítě aktivní nabíjecí stanice odebírala, nepřekračuje hranice obvyklých podmínek připojení přes trojfázové jističe do 40 A. V tomto případě tedy akumulární baterie slouží pouze pro vyrovnání nerovnoměrnosti odběrů při nabíjení a dá se usoudit, že dostatečná kapacita akumulátoru bude zhruba rovna energii potřebné pro nabití jednoho vozidla. Hodnota akumulované energie W_{AKS} v akumulátoru aktivní nabíjecí stanice s jednou zásuvkou se tedy bude pohybovat kolem 30 - 35 kWh. Při využití více zásuvek bude koeficient současnosti tuto hodnotu snižovat. Např. u stanice se dvěma zásuvkami můžeme potřebnou energii vypočítat následně:

$$W_{AKSn} = W_{AKS} \cdot n_z \cdot k_{sn} = 30 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 0,8 = 48 \cdot 10^3 [Wh] = 48 [kWh] \quad (7.4)$$

Za uvedených podmínek je zřejmé, že nemá smysl se zabývat dopadem této malé stanice na poměry v napájecí distribuční síti, respektive dopadem na DDZ. Zabývat se těmito stanicemi s ohledem na krytí špiček v DDZ by mělo smysl např. při dispečerském dálkovém ovládání (ekvivalent HDO).

7.4.2 Výpočet velikosti akumulátoru střední aktivní nabíjecí stanice

U aktivní stanice střední velikosti bude situace do značné míry závislá na počtu nabíjecích zásuvek. U metodiky můžeme vycházet ze stejného principu jako v předcházející kapitole s tím, že činitel soudobosti se bude se vzrůstajícím počtem zásuvek snižovat. Posouzení vlivů na nabíjecí síť je nutné provést individuálně dle podmínek možného instalovaného výkonu v místě realizace nabíjecí stanice. Celodenně spotřebovaná energie nabíjecí stanice s $n_z = 10$ zásuvkami, by tedy odpovídala velikosti akumulované energie:

$$W_{AKSn} = W_{AKS} \cdot n_z \cdot k_{sn} = 30 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 0,5 = 15 \cdot 10^4 [Wh] = 150 [kWh] \quad (7.5)$$

Za této situace již lze uvažovat o dopadech akumulární funkce nabíjecí stanice na DDZ, záleží však v podstatné míře na místních podmínkách. U těchto stanic již má smysl zabývat se doplněním struktury stanice o některé typy obnovitelných zdrojů energie, zejména fotovoltaiky, nebo malé větrné elektrárny.

7.4.3 Výpočet velikosti akumulátoru velké aktivní nabíjecí stanice

Předpokladem pro činnost velké aktivní nabíjecí stanice bude kapacita akumulátoru, který již je schopen v místě připojení ovlivnit rovnoměrnost DDZ. Přístup k dimenzování akumulátoru tedy bude poněkud odlišný od postupů v předchozích kapitolách.

Vybudování stanice by měl předcházet rozbor DDZ v místě jejího připojení a doporučená velikost akumulátoru by měla být v hlavních rysech v souladu s průběhem DDZ v místě připojení.

Možný postup je aplikován na poměry vybrané a již dříve popsané lokality TCO, u níž známe jak průběh DDZ ve čtyřech modelových dnech (léto - pracovní den a den pracovního volna, zima - pracovní den a den pracovního volna, viz. kap. 7.3), tak podmínky připojení a parametry distribučního transformátoru (viz. kap. 7.1.).

Možný postup pro výpočet akumulované energie by mohl být např. tento:

1. Pro každý DDZ stanovíme střední hodnotu spotřeby v rámci daného dne dle vzorce 3.1 a grafického znázornění na obr. 3.3

$$W = \int_0^t P(t) dt = P_{str} T \Rightarrow P_{str} = \frac{W}{T} \quad (3.1)$$

kde doba $T = 24$ hod a W je celková odebraná energie za analyzovaný den.

2. Pro každý časový okamžik vypočteme rozdíl hodnoty okamžitého a středního výkonu a křivku vyneseme do grafu. Situaci ilustruje obr. 6.1.
3. V časovém intervalu vhodném pro akumulaci provedeme integraci výkonů, čímž vypočteme energii, která by se měla „uskladnit“ v akumulátoru. Výsledkem tak bude vyrovnaný odběr energie ze sítě, který bude odpovídat hodnotě $P_{stř}$.
4. Pro účely dimenzování akumulární soustavy, zejména velikosti nabíjecího proudu, určíme z velikosti akumulované energie (zelené plochy) ekvivalentní hodnotu nabíjecího výkonu soustavy.
5. Výpočet určíme pro všechny charakteristické DDZ a na základě výsledků provedeme stanovení potřebné velikosti akumulátoru aktivní stanice, resp. množství přípojných zásuvek pro nabíjení elektromobilů.

V konkrétním případě stanice situované v TCO jsou DDZ dodány formou tabulky ve formátu MS Excel s vzorkováním měření 1 min. V průběhu jednoho dne je tak změřeno 1440 vzorků. Metodu integrace výkonu pro účely výpočtu energie tak můžeme v tabulce s dostatečnou přesností nahradit funkcí součtu (SUMA). Na základě průběhu DDZ byly stanoveny možné doby akumulace v „ranních“ hodinách 0 – 6 hod, ve „večerních“ hodinách 22 – 24 hod.

Výše uvedená metodika je demonstrována na příkladu výpočtu, který vychází z poskytnutých údajů ČEZ Distribuce. Datové soubory byly poskytnuty ve formátu textového řetězce a převedeny do formátu tabulky „denní diagramy v ex2007.xlsx“. Tato tabulka obsahuje 5 listů, první čtyři listy

obsahují datové a vypočtené údaje DDZ, středního výkonu, křivky možné akumulace, 5.list obsahuje zpracované grafické výstupy diagramů. Vzhledem k tomu, že tabulky obsahují 1443 řádků, nejsou přiloženy v tištěné, ale pouze v elektronické podobě.

Pro ilustraci je uveden příklad výpočtu pro den 21.7.2010 dle výše uvedené metodiky.

- Stanovení středního výkonu integrací minutových výkonů
 $P_{stř} = 143344,60 \text{ W}$ [G2] =(SUMA(F3:F1443))/1440
 Údajem $P_{stř}$ byl vyplněn sloupec (G3:G1443)
- Výpočet křivky možné akumulace
 $P(t) - P_{stř}$ [H3] =F3-G3
- Stanovíme možnou energii v intervalech pro akumulaci
 Čas $t_0 = 0$ hod - údaje na řádku [3]
 Čas $t_1 = 6$ hod - údaje na řádku [363]
 Čas $t_2 = 22$ hod - údaje na řádku [1323]
 Čas $t_3 = 24$ hod - údaje na řádku [1443]
 Akumulace ráno $W_{AKU1} = -1,11E+07 \text{ Wmin}$ [J3] =SUMA(H3:H363)
 Akumulace večer $W_{AKU2} = -3,03E+06 \text{ Wmin}$ [J4] =SUMA(H1323:H1443)
- Stanovíme ekvivalentní akumulční výkon
 Ekv. výkon ráno $P_{aku ekv1} = -3,08E+04 \text{ Wh}$ [J5] =SUMA(H3:H363)/360
 Ekv. výkon ráno $P_{aku ekv2} = -2,50E+04 \text{ Wh}$ [J6] =SUMA(H1323:H1443)/120
 Všechny vypočtené údaje vyneseme do grafů viz. list 5, čímž byly vytvořeny diagramy pro stanovení možné akumulace.

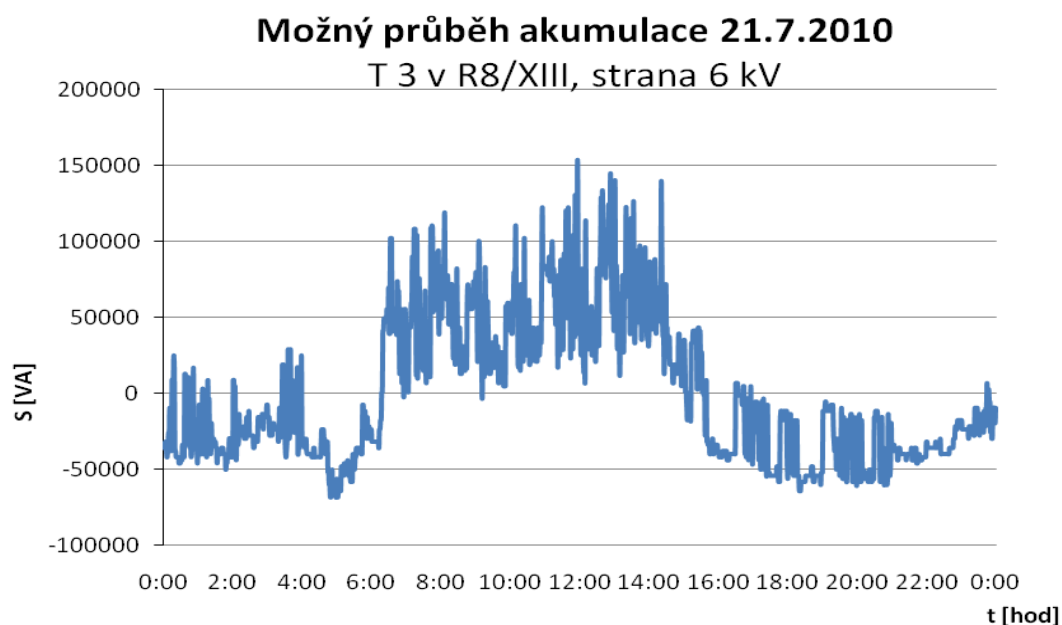
Na základě výše uvedeného postupu byla v prostředí MS Excel vytvořena tabulka výsledků pro všechny analyzované dny.

Tab. 7.1. *Výsledky analýzy denního diagramu*

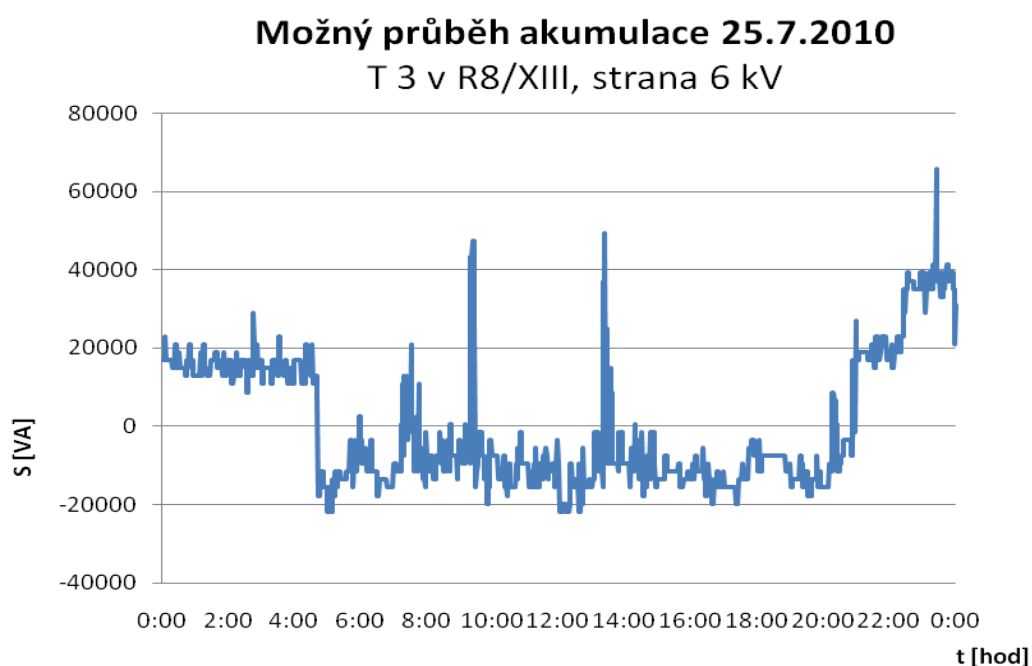
Datum DDZ	21.7.2010	25.7.2010	19.1.2011	21.1.2011
Střední výkon DDZ [kW]	143,34	76,60	193,17	94,07
Akumulovaná energie 00.00-06.00 hod [MWmin]	-11,1	3,39	-19,72	-2,867
Akumulovaná energie 22.00-24.00 hod [MWmin]	-3,035	4,025	-6,799	4,641
Střední výkon akumulace 00.00-06.00 hod [kW]	-30,86	9,42	-54,77	-7,963
Střední výkon akumulace 22.00-24.00 hod [kW]	-25,29	33,54	-56,65	38,68

V tabulce mají hodnoty energie (výkonu) dodané k akumulaci záporné znaménko, hodnoty, které mají charakter potřeby napájení sítě, mají kladné znaménko.

Průběh možné akumulace v jednotlivých dnech znázorňují následující grafy.



a)

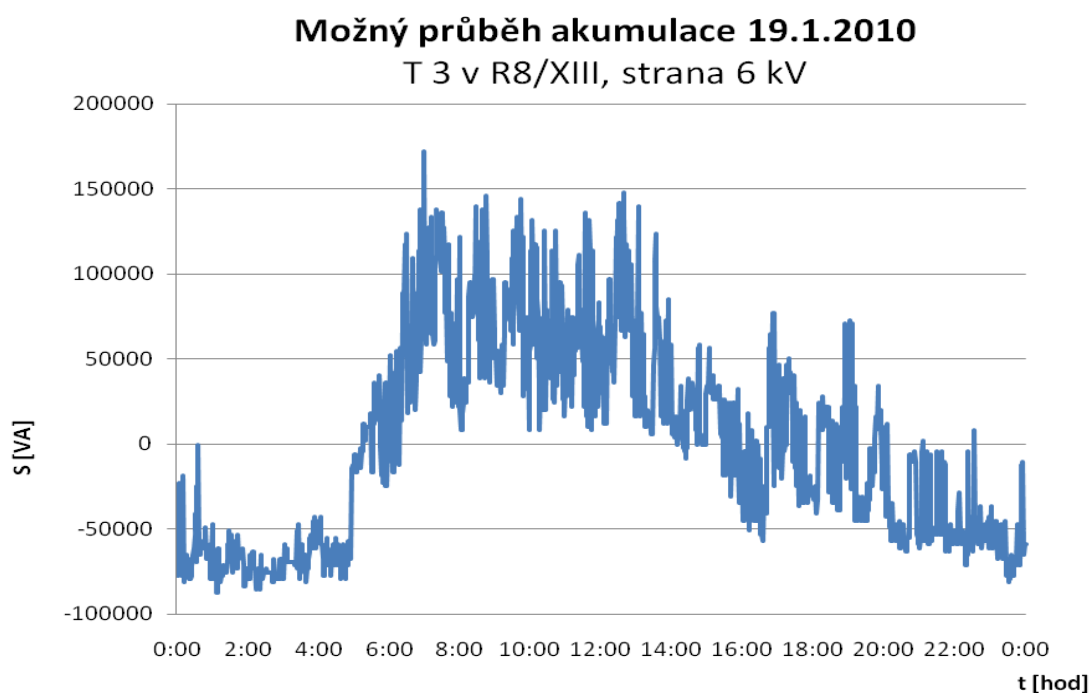


b)

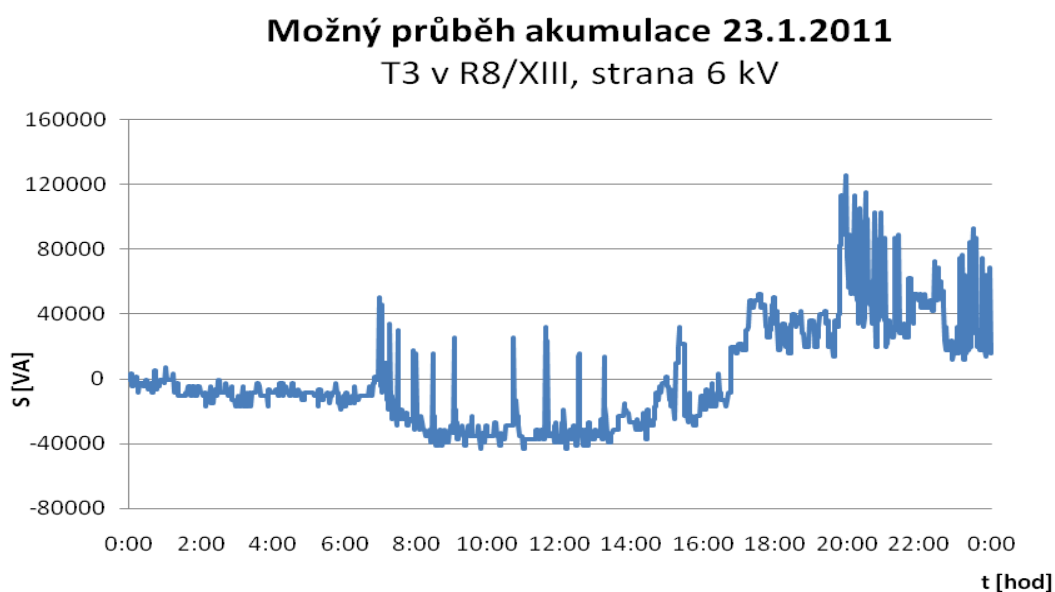
Obr. 7.5 Denní digramy možné akumulace v letních měsících

a) pracovní den 21.7.2010

b) den pracovního volna 25.7.2010



a)



b)

Obr. 7.6 Denní digramy možné akumulace v zimních měsících

a) pracovní den 19.1.2011

b) den pracovního volna 23.1.2011

5. Stanovení vhodné velikosti akumulátoru aktivní nabíjecí stanice.

Na základě provedené analýzy lze konstatovat, že největší akumulovaná energie pro vyrovnání DDZ bude zapotřebí v zimních pracovních dnech, viz. hodnoty dne 19.1.2011.

Na základě těchto hodnot by bylo vhodné navrhnout akumulátor velké aktivní nabíjecí stanice pro uloženou energii cca 300 – 350 kWh z následujících důvodů:

1. Uložené množství energie bude dostatečné pro nabití (dobití) nejméně 10 vozidel v době špičky, nebo výpadku sítě, což jsou stavy bez nároku na příspěvek energie sítě.
2. Dostatečně dimenzovaná velikost akumulátoru umožní v případě potřeby pokrýt i větší špičkové dodávky energie ze sítě, protože proces nabíjení akumulátorů nebude limitován omezeným nabíjecím proudem akumulátorů.
3. V případě, že energie akumulátoru nebude vyčerpána v době polední špičky elektromobily, naskytá se možnost pokrýt potřebu jiných špičkových spotřebičů v síti dodáním akumulované energie aktivní nabíjecí stanice zpět do sítě.
4. Práce celé soustavy na větší výkonové úrovni umožňuje dosáhnout větší účinnosti procesu přeměny energie mezi střídavou sítí a stejnosměrným akumulátorem.
5. Uspořádání s větším akumulátorem dává více možností propojení soustavy s obnovitelnými zdroji, zejména fotovoltaickou, nebo větrnou elektrárnou v blízkosti stanice. Vhodné by mohlo být uspořádání v posledním podlaží patrových garáží, jejichž celá střecha by byla osazena solárními panely.
6. Projekt by mohl být více zajímavý jako podnikatelský záměr majitele nabíjecí stanice, který by kromě dodávky energie provozovatelům elektrických vozidel poskytoval dodávky špičkové energie do distribuční sítě.

Samotná technická specifikace akumulátoru již není předmětem této práce. Z poskytnutých informací lze konstatovat, že v TCO bude instalována akumulátorová baterie olověných akumulátorů s kapacitou 930 Ah a jmenovitým napětím 800 V, což odpovídá použitelné energii cca 300 kWh při hloubce vybíjení akumulátoru na 60% jmenovité kapacity.

Vzhledem k tomu, že k uvedenému tématu práce dosud neexistují žádné předchozí studie ani praktické zkušenosti, lze uvažovat o tom, že velikost akumulátoru stanice odpovídající nejvyšší hodnotě možné akumulované energie bude z hlediska podmínek sítě výhodná. Velice diskutabilní bude tato volba z pohledu investičních nákladů.

Závěr

Diplomová práce se zabývá problematikou aktivních nabíjecích stanic pro elektromobily v případě jejich hromadného rozšíření. Tento typ nabíjecích stanic dosud není u nás využíván, takže s jeho provozem a dopady na napájecí síť nejsou žádné zkušenosti. Proto diplomová práce v mnoha ohledech navrhuje možná budoucí řešení vznikající na základě posouzení možných předpokladů.

Základní rozvaha diplomové práce vychází z rozboru různých provozních stavů elektrických sítí s ohledem na denní diagram zatížení, který se stává základním východiskem pro výpočty v závěru práce. Cílem práce je vytvoření takové aktivní stanice, která bude v rovnováze s možnostmi a potřebami denního diagramu zatížení v daném místě. Proto celý výpočet vychází z nutnosti neustálého cyklování energie v průběhu jednoho dne. Tato podmínka bude splněna jedině za předpokladu, že stanice bude obsluhovat za den dostatečné množství elektromobilů.

Zajímavé jsou informace týkající se dopadů elektromobility na elektrickou síť, pokud by se uskutečnily optimistické výhledy o výrazném rozšíření elektrických vozidel. Proto je v práci provedena základní rozvaha o budoucnosti elektromobility, respektive výhledu počtu vozidel s elektrickým pohonem, které by se na území Ostravy mohly pohybovat přibližně v roce 2020.

Jedním z důležitých výstupů tohoto rozboru je zjištění, že současný stav distribuční sítě jak z hlediska jejího dimenzování, tak možnosti zdrojů by nestačil pokrýt požadavky elektromobility v této době. Řešení ukazuje na nutnost používání aktivních nabíjecích stanic. Proto je v závěrečných kapitolách práce nastíněn možný postup výpočtu velikosti akumulátoru pro aktivní nabíjecí stanice s konkrétním místem připojení v lokalitě Ostrava Vítkovice, kde je umístěné Technologické centrum Ostrava.

V souvislosti s vhodným geografickým rozložením aktivních nabíjecích stanic jak v lokalitách s jejich velkou hustotou ve velkoměstech, tak v místech, která budou spíše výplní infrastruktury při spojovacích cestách mezi většími lokalitami, vznikají použitím aktivních nabíjecích stanic nové možnosti pro řízení chodu distribučních sítí.

Použitá literatura

1. Benger, R., Heyne, R., Haubrock, A., Beck, H.P.: Sustainable Fast Charging Stations for Electric Vehicles. In 5th International Renewable Energy Storage Conference (IRES 2010), Berlin, Germany.
2. Bůbela, T., Korenc, V.: Paralelní aktivní filtry, Elektro 11, 1998
3. Horák, K.: Výpočet elektrických sítí. SNTL Praha, 1980.
4. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení. VŠB-TU Ostrava 2008, ISBN 987-80-7225-291-6.
5. Hradílek, Z.: Elektroenergetika. Skriptum VŠB Ostrava, 1992, ISBN 80-7078-132-7.
6. Hradílek, Z.: Elektroenergetika II. Zkratky, přepětí, stabilita, průmyslová energetika. Skriptum VŠB Ostrava, 1993, ISBN 80-7078-195-5.
7. Chlebišová, E., Kyzecková, J., Svobodová, H.: Marketing Study of the Electric Vehicles' Diffusion. In 11th International Scientific Conference on Electric Power Engineering 2010, Brno, Czech republic, pp. 807-811, 2010, ISBN 978-80-214-4094-4.
8. Kůs, V.: Vliv polovodičových měničů na napájecí soustavu, BEN - technická literatura, 2002, ISBN 80-7300-062-8.
9. Larminie, J., Lowry, J.: Electric Vehicle Technology Explained. John Wiley & Sons Ltd, England, 2003, 293 str., ISBN 0-470-85163-5.
10. Pauza, J., Krychtánek, Z.: Elektrické stanice. SNTL Praha, 1989.
11. Santarius, P.: Elektrické stanice a vedení. Skripta VŠB Ostrava, 1990, ISBN 80-7078-032-0.
12. Trojánek, Z., Hájek J., Kvasnica P.: Přechodové jevy v elektrizačních soustavách. SNTL, Praha 1987.
13. Kolektiv řešitelů: Akumulace energie, základní koncepce návrhu projektu akumulace v Projektu ENET cz.1.05/2.1.00/03.0069
14. Korenc, V. Bůbela, T.: Aktivní filtry tuzemské výroby, Sborník XXVI. Konference o elektrických pohonech, Plzeň 1999
15. Časopis zaměstnanců Skupiny ČEZ „NEWS“ září 2010.
16. Časopis zaměstnanců Skupiny ČEZ „NEWS“ listopad 2009.
17. Časopis zaměstnanců Skupiny ČEZ „NEWS“ červen 2009.
18. Katalog Elektromobilita - Ekologická a ohleduplná cesta budoucnosti, SCHRACK Technik spol. s r.o., P-TANKE – 11 CZ
19. Oranžový průvodce 2011 Praktické informace a tipy ze světa energie, Skupina ČEZ
20. <http://www.futuremotion.cz/smartgrids/cs/index.html>
21. <http://www.hybrid.cz/clanky/rychlonabijeci-stanice-pro-elektromobily>
22. <http://www.mvcr.cz/clanek/centralni-registr-vozidel-865510.aspx?>
23. http://www.wcre.de/en/index.php?option=com_content&task=view&id=125&Itemid=85
24. <http://3pol.cz/817-smart-grid-hudba-blizke-budoucnosti>

Seznam příloh

Příloha číslo 1 - Datové soubory - Denní diagramy v ex2007.xlsx - pouze v elektronické podobě